目录



第1章 问题

今天，我们宣扬这样的说法：科学如果不经过定量描述则不称其为科学。所以，我们用因果研究替代其关联性，用物理方程替代有机推理，并且认为测量和方程使我们的思维更加敏捷。然而……测量和方程有可能使思维变得更没有逻辑、更加模糊。它们本该是重要推理的辅助手段，现在却有成为科学操作对象的趋势。

甚至，在物理和化学研究中，许多——也许是大多数——重要的科学问题，都是定性而不是定量描述的。方程和测量方法当且仅当被证实后才是有用的；不过，证实或证伪结果常常先于方程而出现，而且绝对能在没有精确测量的情况下说服你接受这些证实或证伪的结果。

我们也可以换一种说法，你可以从两个盒子中抓住现象：逻辑盒子或者数学盒子。逻辑盒子看上去有些粗糙，但是很坚固；数学盒子很精致，却有些脆弱。数学盒子可以把一个问题漂亮地包装起来，但如果没有逻辑盒子首先抓住问题，数学盒子自己抓不住问题本身。

约翰·R. 普拉特[1]（John R. Platt）

世界的复杂性

给我们带来麻烦的不是那些我们未知的东西，而是那些我们认为已知，但实际上远非如此的东西。

威尔·罗杰斯（Will Rogers）

获得知识的第一步是承认自己的无知。我们对世界的了解远远少于大

多数人愿意承认的程度。尽管如此，我们仍然必须承认无知，因为表明我们无知的证据正在积聚，而且达到了无法忽略的数量。

> 假设 150 或 200 年前的人们从卫星上给地球拍过一张照片，那么这张照片的一个显著特征就是在赤道南北大约 10 个纬度或更宽的范围内有一条长长的绿色带，这就是终年常青的热带森林，通常被认为是热带雨林。两个世纪前的那个时候，热带雨林几乎是延绵不断地覆盖着从中南美、非洲、东南亚到印尼群岛的热带温地。
>
> ……热带雨林是最古老的生态系统之一……自 6000 万年前结束的白垩纪开始就一直存在。
>
> 可是今天，热带雨林，和其他一些自然生态系统一起，正飞快地变化着……很有可能到本世纪末，热带雨林将不复存在。[2]

类似的报道频繁见诸书本与报刊。这种变化是好是坏？对此我们不清楚——而这正是问题之所在。我们的问题并不在于热带雨林的变化本身，因为这种变化是一直存在的；也不在于人类行为本身，因为改造世界是人类的本质，人们改变世界原有秩序的活动只有在人类消亡后才会停止。

回顾这个我们赖以生存的星球的发展史，就会发现物种灭绝的凄凉故事俯拾皆是，并且大部分都有同样的景象：倚剑而生的人，最终死于剑锋。恰恰是那些所谓的成功之花在超越特定时间之后就开始释放死亡毒素。人类的成功源于他们改造世界的能力，而真正的问题在于必须让这种能力处于可控制的范围之中。

人类知识的积累过程在过去十分缓慢。那时，一个人一生之中除了自然界的风花雪月之外，很难看得到其他巨变。学会在铜中加入砒霜来锻造青铜器人类就花了几千年；而懂得用锡代替危险的砒霜则又经过了一两千年的漫长时光。而如今，平均每天就从实验室中制造出一种新的合金。合金的产生确实引起了人类文明的潮起潮落，然而这种变化过程太过漫长了，不值得过多关注。对人类文明产生严重影响的方式是侵略，然而，它的影响是局部的、缓慢的，早已被千千万万个微小的变化同化吸收了，并没有引起地球上的物种变迁。可是如今每天都在增加的新合金，这会不会引起物种变迁？我们对此并不了解。

科学技术是人类生存环境发生空前变化的催化剂。物理学家告诉我们



如何控制核威力；化学家发现了使食物增产的方法；基因学家教会了我们如何提高生育的质量。但是，从事科学技术的人们并不知道在他们取得巨大成绩的同时，如何去控制与此相伴而生的、更为严重的副作用。核电站发出的多余热量改变了鱼群的生育方式；在我们还没有来得及找到对策之前，其他物种的变化已经引起河流及周边生态环境不可逆转的变化。杀虫剂不过能杀死某种昆虫，除草剂能将热带雨林变成农田，但我们得到的却是更为贫瘠的土地。这些变化将对人类的子孙后代产生怎样的影响？对这个问题，目前我们只看到了一些线索，一些可怕的线索。

有人认为系统论的产生源于科学的失败，但我认为更准确的说法应该是：是因为科学取得了如此成功才需要一般的系统理论。科学与技术统治了我们的星球，其影响遍及生活的方方面面。在这些变化过程中，科学技术也揭示了许多连其自身也未曾预料的复杂性。系统论的任务就是帮助科学家揭示复杂性，帮助技术人员掌握复杂性，帮助其他人学会在复杂世界里生存。

本书向读者介绍系统化的思维方法。由于系统论自身是科学的产物，我们将以系统论的观点来检验其他学科。有了这个准备以后，我们将对照其他学科来讲述什么是系统论方法，然后，在广泛的学科范围内认真地研究由观察和实验所提出的许多问题。随后，经过艰苦的努力，当我们能够由衷地接受"我们知道的并不是那么回事"这种说法之后，就会发现系统论未来的问题，不过如何解决这些问题则远远超出了本书的范围。

机械论与机械力学

物理学并不仅仅致力于解释自然界，事实上，它的巨大成功在于其有限目标：揭示自然界中物体行为的规律。抛开上面那个宏大目标，物理学划定了一个具体的范畴来寻求对现象的解释，这才是人们生活的必须。事实上，物理学能够对可以解释的客观事物给出详细的说明，这一点也许可以算是物理学最主要的发现了。

物理学旨在揭示的规律性被称为自然规律。这个名称很恰当，就好像具体的法律只适用于某些情形而不能成为衡量所有行为和活动的统一标准一样，物理学规律也只能决定它所关心的物体在某些完全定义好的条件下的行为规律。[3]

尤金·P. 威格纳(Eugene P. Wigner)

要想了解系统论对科学的看法，我们应该首先来看看物理学——特别是机械力学，因为其他科学将这些科学作为标准。卡尔·德意奇（Karl Deutsch）对世界的机械力学模型之美有如下见解[4]：

> 机械力学认为整体完全等于其部分之和，反之亦然；不管把组成整体的各部分进行多少次的分解组合，或者按照什么样的顺序进行分解组合，整体的行为始终不变。这意味着各部分之间不存在相互作用，也与自身过去的历史无关。任何部分在适当的时间到达适当的位置后，就会从这个位置开始继续完成它那完全惟一确定的行为。

在现实生活中我们观察到的很多力学系统都是由许许多多不同的部分组成的——多数是两个，有时是十个，或许多达三四十个，比如桥梁上繁多的部件。在这种情形下，上述说法可能并不适用，因为，如果系统中存在的部件太多，即使物理学家们还能写出描述不同部件行为的方程，他们也很可能无力求解这些方程——即便可以采用某些近似方法。不错，高速计算机的出现拓展了机械力学系统近似求解的范围，但是这种作用仍然相对较小。

既然机械力学的形式化方法有如此的局限性，为什么它又被视为所有科学的基础模型呢？我们必须——如果我们准备得到答案的话——忽略形式化方法，而去想想那些非形式化的方法。人们总是通过各种非形式化的方法对复杂力学系统做出简化，然后才能应用形式化方法对简化后的系统进行分析求解。

以牛顿对太阳系中物体运动的解释为例，拉波普特（Rapoport）指出：[5]

> 对力学方法的成功，幸运的是，太阳系……是由多个运动物体组成的、可以追踪的特殊系统。

虽然拉波普特的分析没有错误，但是，它没有涉及牛顿力学最核心的部分。首先，太阳系不是由"多个运动物体"组成的，我们已经知道太阳系中存在成千上万个天体以及其他没有成形的物质（参见图 1-1）。可是，关于行星的所有分析从一开始就忽略了其中的大部分天体，因为人们认为它们的体积"太小"了，不足以对计算结果产生影响（参见图 1-2）。这种做法是如此的自然而然，以至于很多书本对此都没有提及，而实际上，只有在很特殊的情况下才能采取这样的做法。任何其他系统就不被认为是理解力学原理的合适系统。

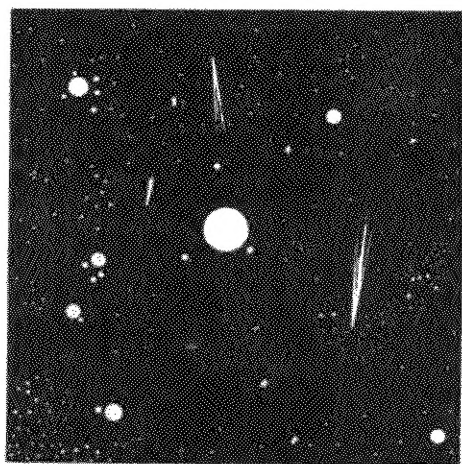


图 1-1 存在成千上万个天体

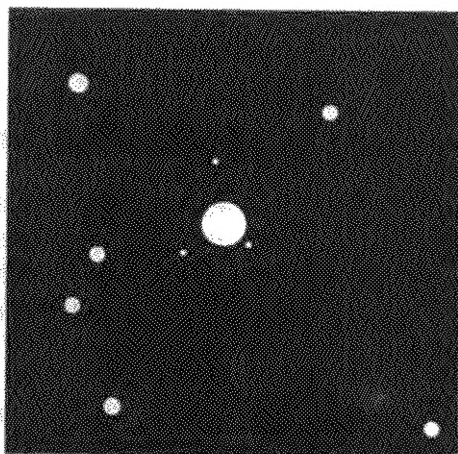


图 1-2 行星运动的研究恰恰始于忽略大部分天体的存在

让我们再来看看大脑中的一个微小组织——松果体。心理学家要研究人体行为能忽略它的作用么？答案很灵活：也许可以，也许不可以。毋庸置疑，与大脑的质量相比而言，松果体的质量微乎其微，从这方面讲可以将它忽略不计。活细胞中的DNA只占细胞质量的很小一部分，但是如果忽略了它，就不能理解细胞生物学原理了。蜂王只是在蜂箱中生活的几千只蜜蜂之一，其质量也只占其中的很小部分，但任何动物行为学家都不敢忽略它的作用。

所以说，力学是这样一门科学，它研究的是力学近似原理能很好地对其进行反映的那些系统。如果只考虑万有引力定律的作用而不考虑其他因素，只凭经验而不用任何理论我们就知道这远远不足以掌握人体的奥秘。

计算的平方定律

> 过去我们处理生物系统的惟一手段，就是试图将生物系统各个部分之间的作用减为最小，以至于不能对所关心焦点问题展开深入的讨论；如今只要有足够的时间和金钱，我们可以将生物系统的复杂性和丰富性逐一揭示。[6]
>
> **W. 罗斯·艾什比(W. Ross Ashby)**

进行计算要花费什么，时间还是金钱？低成本地计算行星轨道，忽略小物体(例如小行星、彗星、卫星以及宇宙中的其他漂浮物质)的做法会带来多大的影响？

首先考虑给出两个普通物体的描述方程这一情形。我们必须首先描述清楚每个物体的自身行为——即“孤立的”行为；然后，我们需要说清楚两者的相互作用——即“关联性”；最后，我们还需要了解两个物体都不存在时系统的行为——即“场”方程组。总的说来，描述两个具有相互作用的一般物体所构成的系统需要4个方程：2个“孤立”方程，一个“关联”方程，还有一个“场”方程。

当系统中物体的数量增加时，“场”方程仍然只有一个，每个物体需要一个“孤立”方程来描述其行为，但是，“关联”方程的数量则迅速增加，n个物体存在2^n个不同形式的关联方程。

更具体地说，由10个物体组成的系统存在 $2^{10}=1024$ 个方程，而由100 000个物体组成的系统则有大约 $10^{30\,000}$ 个方程[①]。通过"忽略小物质"，系统中的方程从 $10^{30\,000}$ 急剧下降到大约1000个左右。这样，即使我们不一定能解出方程，至少也能写出所有方程。

那么，求解这些方程要付出多大努力？我们又为何对此深感兴趣？在牛顿时代，力学对哲学思想的影响是普遍而深入的，很多哲学家赞同拉普拉斯的这个观点：只要精确地观测到被测物体各个组成部分的位置和速度，就可以计算出整个宇宙的未来。虽然他们意识到完成这些计算需要巨大无比的计算机，但那时他们连最小的计算机都没有，又如何知道到底有多大的计算量呢？

历史发展到了我们这一代才实现了机械论者的梦想，实现这个梦想的同时却带来了哲学的革命，其中一个方面就是提出了计算成本的问题。它虽然是由系统化思想家首先提出来的，但艾什比在这个问题上的表现最为著名、最为坚定。"要花多少时间和金钱"始终困扰着人们，也成为系统论发展的基础性问题。

我们不需要准确地知道，而只是希望能估算出，**计算量将如何随着问题规模的增长而增长**。经验表明，**除非能够采用某些简化手段**，计算量将以问题规模增长量的平方倍数增长。这就是"计算的平方律"。据此可知，如果方程数目增加1倍，我们必须采用运算速度提高到4倍的计算机才能在和以前相同的时间内得出结果。其实，计算时间经常比这个增长速度要少得多——特别是在采用一些技术手段之后，比如说，使计算精度下降。不过，就我们目前的论述而言，我们可以保守地采用"计算的平方律"来估算求解一般问题的计算量。

在实际计算中，存在一个系统规模的上限，而 $10^{30\,000}$ 则显然大大超出了这个上限。牛顿时代没有计算机，科学家们最多能求解1000个牛顿刚刚发明的二阶微分方程所表示的系统。牛顿需要对所有显然的和隐含的现象做出简化假设，以便得到上述简化方程，恰如今天的物理学家和心理学家所做的工作。在这个意义下，我们很容易理解为什么过去的物理学家说他们的后继者们研究的不再是"真正的物理学"问题，因为这些年轻人使用计算机

① 即 $2^{100\,000}$ 个方程。——译者注

来求解成千上万个方程，而不再是利用物理“直觉”先去努力减少方程的数量，以便用铅笔在信封背面演算出结果。

科学的简化与简化的科学

> 我不知道他人如何，我自己一般在开始时就放弃了：一旦我深入思考那些日复一日遇到的最简单问题，我就发现它们简直是不可回答的。
>
> **贾斯蒂斯·勒尼德·汉德(Justice Learned Hand)**

想一想实际的计算问题，我们就会对力学或任何其他学科产生新的认识。由于实际的计算要求把那些隐含的假设明确化，所以对计算机程序员来说掌握一种方法来分析人们如何进行假设就是自然而然的事情了。要举出这样的实例，只需试试想出另外一种假设，使我们能够将太阳系减少到1000个方程。

我们已经假设——力学中常常这么假设——只有某些相互作用是重要的。在太阳系的实例中，万有引力才是惟一重要的，这意味着每一种相互作用仅仅表现为一个方程。那么我们是怎样知道在这个系统中只有万有引力才是重要的呢？我们又如何知道可以忽略地磁效应、静电作用、个体的作用力以及其他因素呢？对这个问题，一种回答是：如果考虑了其他作用力，则这个系统就不成其为一个力学系统了。然而这种回答带有诡辩的意味，**我们又如何知道这是不是一个力学问题呢？**

与前面相同，我们之所以知道它是一个力学问题，是因为如果我们做这样的近似计算，就能得到满意的结果，也就是计算结果符合观察结果。如果我们手中的问题不符合这样的结果，它就不会被写入力学课本中了。这种困惑在实际计算卫星 Echo 的轨道时就显现出来了。这个轨道是一个膨胀的巨大的迈勒(Mylar)球体，经典万有引力模型计算出来的轨道不能很好地预测 Echo 的运行轨道。经过艰苦努力，人们发现由于 Echo 的密度很小，它的体积就比同样重量的太阳系天体大得多，所以，照射到其表面的太阳光的压力就不能像计算其他“普通”轨道一样完全忽略了。所以我们不能采用上面的那种答案，力学本身并没有告诉我们什么样的系统才是力学系统。

即使我们已经将问题简化到只有 1000 个方程——采用了大量隐含的



假设——还不能说我们已经解决了这个问题。因为就算采用大型计算机，可能还是很难得出这些方程的解，还需要对这一问题做进一步简化。牛顿在万有引力定律中提供了一种重要的简化方式，这一定律被誉为“迄今为止人类掌握的最普遍的规律”。[7]

万有引力定律指出，两个质点之间的相互吸引力(F)由下式表示：

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

其中，M 和 m 分别为两个质点的质量，r 为两者之间的距离，G 为普适常数。从简化的观点来看，这个方程并没有清楚地说明反而是隐藏了许多简化假设条件，它表明**不再需要其他任何方程**。比如，它说明两个物体之间的作用力在任何时候都与第三者无关，所以，只需依次考虑两两之间的作用力，然后把这些作用力线性叠加起来就可以了(参见图 1-3)。

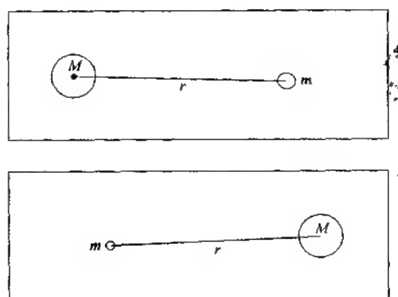


图 1-3　只需依次考虑两两之间的作用力

可是，如果心理学家也考虑将两两作用线性叠加，那就贻笑大方了。采用类似的简化手段，要想了解一个家庭的行为，心理学家就只需要先看看夫妻行为、父子行为和母子行为，然后把三种相互行为叠加起来就能预测全家的行为了。不幸的是，现实生活中仅有力学和其他少数几种学科可以进行这样的两两作用的线性叠加。

在太阳系的例子中，通过两两作用的线性叠加，我们把问题从 1000 个方程简化为 45 个，这是从 10 个物体里任取 2 个物体的所有可能组合。从计算上看，我们已经把计算量至少减少了四十五分之一千的平方

$(1000/45)^2$ 倍，大约只是原来的 1%。到此为止，拥有计算机的我们就可以结束简化过程了，而没有计算机的牛顿则还需要更进一步的简化。

巧合的是，太阳系中有一个物体（太阳）的质量比其他物体要大得多，事实上，比它们质量的总和还要大得多。由于存在这样一个占主导地位的天体，那些没有太阳参与作用的两两之间的相互作用力就小得足以忽略了，至少对于牛顿想要解释的数据精度而言确实如此（但简化计算结果的精度偏差至少让人们后来发现了牛顿所不知道的一颗新行星）。这种简化假设是根据太阳系自身的构造特点而不是力学原理。于是，方程数由 45 个减少到了 10 个，计算量因而减少为原来的二十多分之一。

牛顿没有到此为止。他注意到由于太阳独一无二的巨大质量，我们可以将其他所有行星看成一个质点，太阳作为另一个质点，整个系统只剩下了两个物体。这种将一个系统分解成没有相互作用的若干子系统的技术对于所有学科都十分重要，当然对于系统理论学家也一样重要。要理解它的重要性，只需想想"计算的平方律"：设求解一个含 n 个方程的系统需要 n^2 次

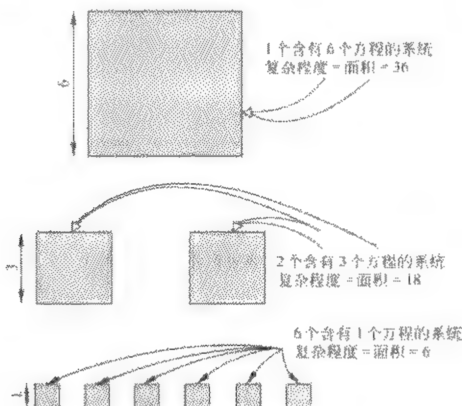


图 1-4　分解的效果

每个正方形表示一系列方程，正方形边长表示系统中的方程数，面积表示计算的复杂程度 n^2。将一个含 6 个方程的方程组分解成两个含 3 个方程的方程组，我们就将面积从 36 减为 18，继续将这一个方程组分解成 6 个单个方程，我们就将面积从 36 减为 6。

计算，则计算 n 个仅含1个方程的孤立系统共需进行 n 次计算(参见图1-4)。

直到这时牛顿才停止进一步假设，并开始求解方程。事实上他还做了许多其他假设，比如把太阳系中的每个天体看成一个质点。在这些条件下，一般说来，牛顿及其同时代的人们比今天讲解牛顿力学原理的物理学教授们更加敏感、更加关注合理的简化假设条件。所以，现在的学生很难理解为什么牛顿关于行星轨道的计算能跻身于人类最伟大的成就之列。

然而，系统化思想家深知这一点，因为理解科学背后的简化假设正是他自己所选择的任务。用威格纳的话说，就是“感兴趣的对象”和“定义清晰的条件”**能帮助我们确定问题的应用范围，增加它的预测能力**。系统化思想家从科学家建立关于世界的模型这一过程的起点直接入手，并依照这个过程进行下去，直至帮助他获得关于其他科学的有用模型为止。

为什么系统化思想家对科学的简化——以及简化的科学——这么感兴趣呢？其道理与牛顿的思想完全一样。系统科学家懂得“计算的平方律”确定了任何计算设备都具有计算能力的极限，而且，他认为人的大脑在某种意义上也是一种计算设备，所以，如果我们想在一个如此复杂的社会中生存，我们就必须努力获得所有可能得到的帮助。牛顿是一个天才，但他的才能并不在于他的大脑计算能力特别突出，相反，他的才能在于懂得如何对问题做出合理的简化和理想化，把复杂问题转化为普通人的大脑可以处理的、相对简单的问题。通过研究历史上所有关于简化的各种成功或失败的方法，我们希望找到一种既能丰富人类知识又不过分依赖高智商因素的方法。

统计力学与大数定律

密西西比河下游在176年的时间里缩短了242英里，这是从它平均每年缩短 $1\frac{1}{3}$ 英里的小小数据上推算出来的。所以，任何冷静客观的人，只要不是瞎子或者白痴，就可以推算出在志留纪(Silurian)时期(到明年11月正好100万年前)[1]，密西西比河下游应该延伸到130万英里长的地方，仿佛一根巨大的钓鱼竿伸在墨西哥湾上。同样可以推

[1] 这是马克·吐温写作此书的年代，即19世纪70年代初。——译者注

算，742 年以后，密西西比河下游将退化成只有 $1\frac{3}{4}$ 英里长。非洲的开罗和美国的新奥尔良将会近得街衢相通，可以由同一个市议会和一个市长来管理。科学中存在这样令人不解的地方，就是人们可以从一些不显眼的事实中推测出有用的结论。

马克·吐温《在密西西比河上》

牛顿的成就在于从具有大约 10^5 个物体的复杂系统中找出感兴趣的 10 个物体来描述该系统的行为规律。然而，到了 19 世纪，物理学家们想到要研究另一类系统——简单的小系统，比如玻璃瓶中空气分子的运动。

玻璃瓶中的空气分子与太阳系中的星体有许多不同：首先，它的数量不是 10^5，而是 10^{23}；其次，19 世纪的物理学家不是对其中的 10 个分子感兴趣，而是想了解所有的分子；第二，即使他们只想了解其中 10 个分子，也必须弄清楚所有 10^{23} 分子，因为它们的质量几乎是一模一样的，并且相互之间具有紧密作用力（参见图 1-5）。

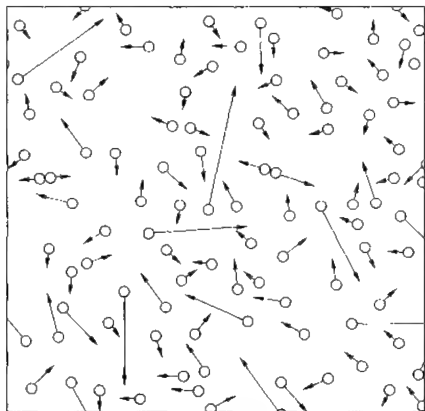


图 1-5　有 10^{23} 个分子，它们质量相同，而且相互之间有紧密作用力

19 世纪的物理学家从牛顿学说里已经学会了只需关心物体两两之间的作用，但这也不过是把方程数量从 $2^{10^{23}}$ 减少到 10^{46}。尽管这种简化的量很显

著,但是继续简化似乎已经不可能了。经过一些无谓的尝试之后,这些物理学家发现,他们自己好像是伊索寓言中的狐狸,总也够不着挂在架子上的葡萄。我们之所以敢这么断言,是因为他们采取了与那个狐狸相似的做法:他们断定根本不需要去了解每个分子的行为。

当然,事实上事情并没有发展成"酸葡萄分子"。我们必须实实在在地记录下一些物理学家的名字,他们声称自己很幸运地知道不必对无法求解的方程组徒费精力,像吉布斯(Gibbs)、波尔兹曼(Boltzmann)、麦克斯维(Maxwell)等。他们继承了一整套方法,通过观测获得的规律(如波耳定律)来描述气体的一部分可测量特性(如压力、温度、体积),同时他们相信气体是由气体分子组成的。然而,他们的这个信念与观测到的气体特性之间存在差异,必须建立起一致的解释。他们的做法是:假定所感兴趣的观测特性是大量分子的一些平均特性,而不是其中任何个体的特性(参见图1-6)。

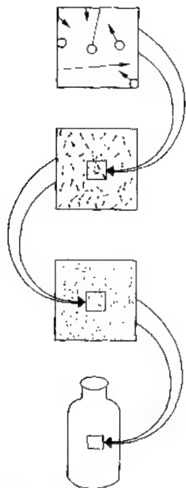


图1-6 感兴趣的测量值只是一些平均特性

因为这类平均特性的数量是极为有限的,这样的简化就大大地减少了计算量。更为绝妙的是,根据这种假设得到的关于这些平均值的预测结果

具有很好的精度,因为气体分子数量特别大,满足所谓的"大数定律"。大数定律实际上说明了这样的道理:观测样本的数目越多,观测值越接近于预测的平均值。

关于大数定律,更为精确的论述还能让我们了解到,随着样本数量的变化,我们期望得到的观测值与预测值如何接近。这方面最有用的经验规则(也是系统学的定律)是如下的薛定锷(Schrödinger)的"N 的平方根定律":

> 如果假定某种气体在一定压力和温度下具有一定的密度,并且表述为在一定的容积(与实验条件相关的体积)内符合这样的温度和压力的气体正好由 n 个气体分子组成,那么可以确信,如果在某个特殊时刻来检验它,结果将表明上面的表述是不准确的,其偏离的数量级大约为 $\sqrt{n}$。也就是说,如果 $n=100$,偏离值约为 10,相对误差为 10%;如果 n 变成 1 000 000,偏离值约为 1000,相对误差降为 0.1%。现在可以大致断言上述统计规律具有普遍性。物理以及物理化学规律不是绝对准确的,它们可能产生数量级为 $1/\sqrt{n}$ 的相对误差,其中 n 为产生这些规律的分子数——即在所关心的时间或空间(或两者兼有的)范围内、针对某些考虑或特定实验的条件下确保这些规律的有效性的分子总数。
>
> 我们再一次看到,要得到关于有机体内在的以及与外界环境作用的比较准确的规律,必须要求有机体具有相当的结构和数量。否则,相互作用的分子数量太少了,"规律"就很不准确。最紧要的是平方根!可以想像,100 万是比较合理的大数,因为它的相对误差为 1‰,可以认为它基本上满足了"大数定律"。[8]

参见图 1-7,用上述生动的描述,薛定鄂不仅解释了为什么物理学和物理化学如此卓有成效,还给出了一种设计原则来指导我们发现较为准确的一般规律。现在,让我们集中注意力来考虑统计学方法对其他科学技术领域种种问题的帮助及其相应的局限性。

统计学方法的应用范围到底有多大?它与机械力学的分析方法有怎样的关系?有一种说法称统计力学面对的是"无序的复杂",即系统本身非常复杂,但是其行为表现出**足够的随机性**,以至于其具有**足够的规律性**来应用统计学方法进行研究。

在系统化思维中,"随机性"是十分重要的概念,虽然由于随机性的存



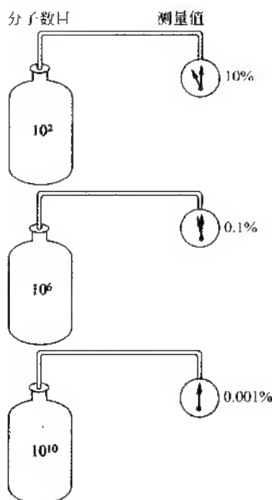


图 1-7 偏离值是分子数目的平方根

在，系统经常表现出与我们的直觉相反的结果。我们在理解机械力学的成就时不存在这样的困难，因为虽然“简单性”与“随机性”同样难于把握，但对于初步的近似处理，我们还是能够通过物体的数量来测量系统的复杂性——它与简单性是相辅相成的。

从直觉上看，**随机性是一种导致正确的统计计算结果的特性**。显然，这是一种循环定义方法，但它能够帮助我们理解统计学方法的适用范围。让我们考虑一个典型的统计学问题：社会上开始蔓延流行性感冒，这时我们想知道流感的传播规律以便制定相应的疫苗接种计划(参见图 1-8)。首先假设每个人被传染的机会是均等的，这样我们就可以比较精确地预测发病数量，并计算出接种疫苗的预期效果；但是，如果人群或传染规律存在一些非随机的特性，那么利用统计结果进行的简单预测就可能大大偏离实际的发病情况。

那么，哪些特性不是随机的呢？举一个例子，人们在乡村住所的分布不

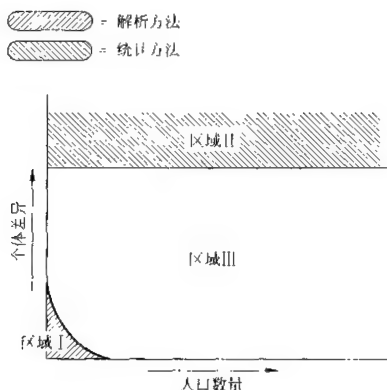


图 1-8　预测传染病的人口分布情况

是完全均匀的，所以每个人接触传染源的机会不一样。如果是一个简单人群（即总人数很少），我们就能精确计算出每个人的传染机会，但正是因为人群的规模不小，我们只能借助于统计方法。在规模较小的人群中，我们必须对人际交往实际情况的有清晰准确的了解，以便计算出流感的感染模式。但在大规模人群的情况下，我们已经放弃了计算准确的人际交往模式的想法，而代之以计算一个平均值来表示这个人群的结构特征。这样，特定的结构帮助我们选择采用一种方法（统计方法），同时也阻止我们采用另一种方法（精确计算）。

图 1-8 应该能够帮助读者理解这个概念。图中，我们用横坐标轴表示人口数量，纵坐标轴表示个体差异。左下角（区域 I）表示一个具有很多结构的小规模人群，它可以用精确计算的方法来求解；直线上部的区域 II 具有足够的随机性，可以据此得到较为精确的统计预测。两者之间的区域 III，表示人群差异很大，但又具有一定的结构（可能很少）而不能利用统计模型来处理。

再来看看更为一般的情形。我们可以根据图 1-8 画出图 1-9。把“人口数量”概括为“复杂程度”，把“个体差异”概括为“随机性”。为了保证论述的一般性，图中没有标出任何数值，只关心其中的一般特性。

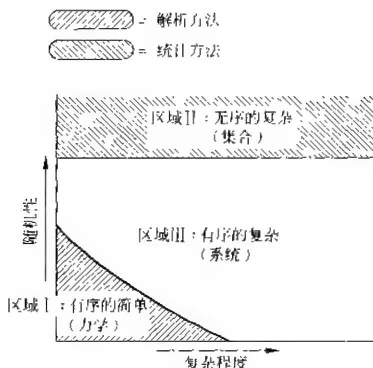


图 1-9　按思维方法区分的系统类型

区域Ⅰ可称为"有序的简单性"——属于**机械力学**的范畴，或**机械论**；区域Ⅱ是"无序的复杂"——属于**种群**、**集合**的范畴；两者之间张着大嘴的区域Ⅲ表现出"有序的复杂"——复杂得难以进行精确分析和计算，然而又有序得不适合采用统计方法。这正是**系统**的研究领域。

中数定律

> 机械论的观点认为物理粒子的运动是世界的真相，这个观点来源于一个崇拜物理技术的文明社会，而这些物理技术迄今已导致了很多灾难的发生。也许将整个世界看成一个有机体来建立模型的做法能帮助我们强化对生命的崇高敬意——这种敬意几乎已经消失在人类历史的残暴之中了。[9]
>
> **路德维希·冯·贝塔朗菲(Ludwig von Bertalanffy)**

技术一般总能带来科学的创新，但技术背后的哲理常常来源于同时代的科学理念。在当今社会，机械技术得益于机械力学的启发，通过减少相互关联的部件而降低复杂性。另一方面，管理技术得益于统计力学的成果，将人群仅仅看做无结构的群体之中可互换的单元，通过考虑人群的平均情况

来获得管理问题的简化。正如贝塔朗菲指出的，这些哲理可能正是由于缺乏科学手段处理那些处于两极之间的系统——那些生长于广阔的独立于人类的中数原野之上的系统。

对介于小数和大数之间的系统，两种经典的方法都存在致命的缺陷。一方面，计算的平方定律告诉我们，不可能用解析的方法解决中数系统的问题；另一方面，N 的平方根定律警告我们，不可以对平均值报以过高的期望。于是，结合两种定律，我们得到了第三种——**中数定律**：

> **对于中数系统而言，可以预计它与任何理论都或多或少地存在很大的波动、不规则性或者偏差。**

中数定律的重要性并不表现在它的预测能力，而在于它的应用范围。严格意义上的机械学系统和统计学系统在现实中很少存在，包围着我们的实际上是中数系统。计算机的元部件个数是中数，细胞中酶的数量是中数，组织机构里的人数是中数，人们知道的单词数量是中数，森林中树木、花草、鸟儿的数量也是中数。

像系统学的大多数定律一样，我们在民间传说中也发现了中数定律的例子。在日常生活中，我们对这类系统可能熟悉但也无奈，所以中数定律可以转换为默菲定律(The Murphy's Law)：

> **凡是可能发生的，都会发生。**

科学在其选定的领域内取得的巨大成功，使很多科学家和政治家误以为科学是解决所有系统问题的上方宝剑，但是科学依然和任何人一样，对中数系统无能为力。科学，作为科学，也不能因此而受到指责，就像不能因为带锯无法用来修理指甲而指责它一样。如果要修指甲，而手头只有带锯这一种工具，那么其结果可想而知。带锯是一种最有用的工具，但是对某些任务而言它并不适合。

科学也是最有用的工具——可能是人类至今为止发现的最有用的工具。即使最狂热的自然主义者也不会拒绝尝试所有的科学成果。但是，科学的成果是简单的成果，或者更准确地说，是简化的成果。例如，社会科学家把我们看成是人性的巨大集合体，以便规划我们的总体需求；工程师将许多小的零部件组合成机器，尽可能减少彼此之间的干扰，从而满足制造的



需要。

许多社会弊病来源于这些简单成果的应用：十分有用的工具只用在过分简单的地方，而更多的情形——很可能就是这些过分贫瘠而简单的地方——又是由于我们试图将那些自身带有不足的技术极大地推广开来而造成的。我们必须开始正视技术手段的脆弱性与局限性，因为大部分技术手段的主要思想都是试图压制中数系统。

例如，考虑将简化的方法用于一个大型电子装置，比如说计算机。每一个晶体管都遵从一定的物理规律，而且复杂精细的制造工艺保证了晶体管达到足够高的纯度以充分满足这个规律。计算机中一个部件就可能有10万个这样的晶体管，它们自身很少发生故障。另一方面，故障却常常发生在这些晶体管连接起来或者与其他部件相互连接的地方。为什么会这样？因为在制造晶体管时，为了保证纯度，已经充分排除了物理应力、灰尘污染、杂质等问题。

我们的技术已经充分采用了与此相似的功能分解方法。如果设计师能够超越功能分解方法，他就可能创造出一种全新的技术。一些设备不仅经常被看成是各个部件的组合，也被看成部件之间的互相关联，这样就创造出具有新水平的设备——例如"集成电路"——由于相互的连接不再存在，各部件原有的特性也就消失了。结果，这样的新设备又成为新思维方法的一个"部件"，而这种部件之间的连接关系又成为了系统中最薄弱的部分。

决不能轻视也不能过分高估功能分解的作用。分解不是一条放之四海而皆准的真理，它只不过是人们克服自身认识能力不足的一种取巧方式，无论是科学还是工程技术都是如此。正如系统学研究运动的一位精神领袖所说的：

> 当我们把事物分解成小的部件或小的特性时，我们其实是在努力放大或夸大那些明显的独立性，而忽视了（至少在一段时间内）组合体所具有的本质上的整体性和个性特征。我们将机体分解成器官，将骨架分解成骨骼。心理学的教学也采用了相似的方法，通过分析组成因素而给出关于思想活动的主观判断；但我们却清楚地知道判断或知识、勇气或温和、爱或恐惧并不会独立存在，而是不同程度地多方面综合在一起，或者通过关联成为一个整体。[10]

世界是一个整体。人们将关于世界的认识划分成各门学科，恰似将一个设备分解成许多部件，将机体分解成器官，将地球表面分解成一个个行政区域一样。在某些情形下，这样做很有好处，但我们往往过于极端。最终，我们革命性地合成了许多新的知识，产生相应的新学科：如电磁场理论、物理化学、社会心理学、可能还有植物心理学，也可能产生新的政治形态，创造新的经济、文化和社会。

生物学和社会科学不像物理学那样“成功”，它们本身不能把所面对的现实切割成小段，因为它们拿到的那部分东西是不可分割的。解剖学家取得了一些成功，可是我们对把人分解以后的操作不感兴趣。社会学家得到的成绩就更小了，因为他们的主要兴趣——“人性”——是一个典型的中数系统，一旦将系统分解或者进行抽象和平均化，那么它所具有的特性就将不复存在。当行为科学家试图用平均化的方法理解个体的行为时，个性早已被磨平且丧失了，而当他们试图分离出独立的个体来加以研究时，他们又割断了该研究对象与其他人或者世界的其他部分的联系，使其仿佛只是实验室的人造物——而不再是人。

在人类历史的长河里，科学只是短暂的一瞬，在历史的长河中，人类能够间接地、部分地控制周围的物理环境还只有十分短暂的经历。近几百年来，人们借助科学来强化对环境的控制作用，并且沉醉痴迷于科学带来的快捷的成功，因而他们并没有更多地关注在他们的分析与求均值以外还会产生哪些后果。作为结论，我们期望人类在未来能够更好地掌握和控制环境——以及人类自身。

在人们自以为是地感觉自己是环境的主人的同时，也会频繁地感觉到自己正沦为环境的卑微奴隶。或许我们开始觉察到把一个系统看成部件的组合、把个体看成只对大量同类的平均值所带来的后果，或许，我们已经意识到，我们正在到达科学和技术有用性的极限，因为科学技术根本的思想基石就是局限于处理大数和小数系统的技术。

系统学研究自身的发展如果不考虑其有限范围，当然也会被同样滥用，其后果将不言自明。系统化思维的目标不是要创造用来解决我们想像中将要遇到的中数系统问题所需要的控制方法，系统化思维关注的是寻找解决极端复杂问题的途径。要想改变“成为人类历史上最残暴的几十年”这一趋势，我们仍然不得不采用更多的综合方法。我们已经知道怎样把草原变成



荒漠、把湖泊变成污水坑、把城市变成坟墓，我们能不能在末日来临之前做些改变呢？

参考读物

推荐阅读

1. Ludwig von Bertalanffy, "The History and Status of General Systems Theory." In *Trends in General Systems Theory*. George J. Klir, Ed. New York: Wiley, 1972.
2. Karl Deutsch, "Mechanism, Organism, and Society." *Philosophy of Science*, 18, 230 (1951).

建议阅读

1. Erwin Schrödinger, *What is Life?* Cambridge: Cambridge University Press, 1945.
2. Kenneth Boulding, *The Image*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1956.

思考题

1. 经济学

维尔弗雷多·帕拉图(Vilfredo Paredo)在其著名的《政治经济学手册》(*Manuel d' Economie Politique*)中提到普遍均衡理论,把它应用到100个人700个商品的问题时,会有不少于70 699个方程。这些数据是怎么来的呢?它与任何商品的数量是什么关系呢?这对帕拉图的理论有什么意义?如何把该理论从这些大量的方程中拯救出来?

2. 社会心理学和社会学

所谓的社会关系学方法是研究社会群体结构时经常采用的方法,其来源可能是经济学中的"计量经济学"方法。由莫雷诺(J. L. Moreno)在他的《谁将生存下去?》(*Who Shall Survive*,1934)一书中提出的这种方法,已经由后继者在很多领域得到了很好的发展。实际上,这种方法通过考察一个群体中人与人之间多维的相互关系,比如喜欢—不喜欢、外向交互型—选择交互型、重要—不重要等,来决定他们之间联系的强度或质量。如果采用这种方法对系统进行有效地研究,对系统的规模有什么限制?这种限制会不会成为社会心理学和社会学的分界线?在什么特殊条件下,可以用这种方法来研究更大的群体?

3. 力学

物理学的巨大成功取决于把复杂系统分解成简单系统,对于这种说法仍然有人持有一定程度的怀疑。对这些人,我们以一个三体问题加以进一步的说明。在已经得到完全解的双物体系统中一旦加入第三个物体,一般说来问题的解是无法得到的。尽管一个高中生就足可以求解双体问题,三体问题却很难求解。1969年在美国伯明翰专门召开了一次有许多著名物理学家参加的"核与粒子物理中的三体问题"的国际会议,这一举动足以窥见其复杂程度的极端。会议的论文集收录了这个领域70多篇论文,然而这个问题仍未得到解决。对物理学处理复杂系统所取

得的成功感兴趣的人，应该对这次会议做一个总结、准备一篇读书报告。

参见：J. S. C. McKee and P. M. Rolph, Eds., *Three Body Problems in Nuclear and Particle Physics*, Proceedings of an International Conference, Birmingham, England, July 1969, New York: Elsevier, 1970.

4. 考古学

看似简单的东西包含深刻的复杂性，最好的例子是去看看考古学。从我们大多数人不感兴趣的一块骨头中，考古学可以推断出一个已消失社会的全貌。《考古化学：研讨会论文集》(Martin Levey, Ed., *Archaeological Chemistry: A Symposium*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1967.)收集了15篇论文，它从不同角度反映了考古学家如何从物体的很小部分中提取出有用的信息。考古学家的这些工作如何与理论物理学家相比？他们有什么共同的简单假设？他们不能共享的简单假设又是什么？

5. 热力学(又称统计力学)

在众所周知的物体三态中，气态是物理学家最早理解得较为深刻的一种物态，对气态的理解恐怕可以从波义耳定律开始算起。最近，物理学家对结晶态也正在逐渐了解和掌握。然而液态，仍然是人们最不清楚的一种物态。请参照中数定律对三态的认识顺序加以讨论。

6. 运筹学

在"计算的平方律"中所提到的"计算"不能仅仅简单地理解成普通意义上的"方程求解"。计算机"仿真"就是一种并不需要明确写出方程的计算方法。考虑一条生产线的仿真，可以是汽车制造厂的装配线，也可以是炼油厂的精馏车间，按照平方律所引起的计算量的增长会使仿真发生怎样的变化？在此过程中可能发现哪些因素来简化仿真模型，而不是按照平方律来简单地增加计算量？

参见：Thomas H. Naylor et al., *Computer Simulation Techniques*, New York: Wiley, 1966.

7. 科学的"科学"

错误地为研究领域命名的现象如此普遍以至于产生了系统学的一般定律。例如，弗兰克·哈拉里(Frank Harary)曾经发表过这样的观点：任何带有"科学"一词的所谓学科分类保证不是科学。他给出的例子有军事科学、图书馆学、政治科学、家政科学、社会科学和计算机科学。请讨论这个规律的一般性，以及它何以具有一定的预测能力。

8. 诗歌

泰戈尔说过："你可以摘下玫瑰的花瓣，却得不到它的美丽。"很多诗人因为赞美完美、赞美复杂而闻名于世。请选择一位诗人和他的几首代表作，来讨论中数定律。

9. 神经内分泌学

不久前，一些解剖学家还认为松果腺(当时被称为"松果体")一无所用，其原因可能是它的体积太小了。今天，情况发生了彻底的改变。观察发现这个小小的组织对中脑、下丘脑以及脑垂体具有十分重要的作用，它合成了各种生物胺和其他一些重要物质，改变了大脑的活动和行为。请参考科学的简化原理来讨论对这一组织逐步了解的过程。

参见：G. E. W. Wolstenholme and Julie Knight, Eds., *The Pineal Gland*, Baltimore: Williams and Wilkins, 1971.

10. 乌托邦思想

乌托邦思想可能是将当前科学哲学的观点引入大众思想的最好例子。法国哲学家圣西门生活于19世纪初期，是当时十分盛行的乌托邦思想的创始人。他的工作先于统计力学的兴起，受到的是彻底的牛顿力学的影响——以至于他认为上帝选择了牛顿而不是罗马教皇来向人类传递上帝的神圣旨意。圣西门对社会体之间的"万有引力"定律特别有兴趣，他显然想把人类社会治理成太阳系那样和谐。

追踪乌托邦思想如何跟随同时代主要科学哲学的发展而进化的过程是一件令人十分着迷的事，在追溯过程中能够进入许许多多的历史分支。

参见：Edmund Wilson, *To the Finland Station: A Study in the Writing and Acting of History*, New York: Harcourt Brace, 1940.

第2章 方法[1]

答案何在？——不要被梦想迷惑。

文明史上许多的暴君，都曾将文明撕破。

公开出现的暴力

　　是不可避免的鬼魔。

　　最重要的是选择——体面地回避，还是宁要丑陋中的罪恶？

要保持人格的完整，须得仁慈

　　洁身自好且远离罪恶；

普天之下的公正与幸福只是痴人说梦

　　不要被它愚弄与诱惑。

部分之丑陋，无损于整体之美满祥和。

断臂是丑陋的，

　　脱离星球和历史的人，无论沉湎冥想还是付诸行动

　　其丑陋更加令人作呕。

完整即完美，有机之完整、生命和万物之完整

　　是美之顶峰，我们须仰天高歌。

热爱她而不是热爱人类吧，否则——

　　人类的末日来临之时。

---

① 本章素材以20世纪60年代初期我与肯尼斯·伯丁共同讨论的内容而写成。10年后的今天读了他的文章之后，我意识到我与他的观点是分不开的。因为他比我聪明得多，你尽可以放心地认为本章与他的文章有一致的观点。又由于他比我写得好，我强烈地建议读者去读他的文章——甚至可以跳过本章不读。——作者注

你就会堕入绝望的深渊，守着人类可怜的困惑。[1]

罗宾逊·杰弗斯(Robinson Jeffers)

《答案》(*The Answer*)

有机体、类推与活机论

因为我对有些人说过："如果我在生活中遇见了这样的女人，我会因害怕而逃开。"他们就说我没有见过女人。对此，我的回答是：归根到底，我并不创造女人，我只是画画。[2]

亨利·马蒂斯(Henri Matisse)

系统学研究试图通过发现一般规律来促进对中数系统问题的思考。虽然这些规律用非正式的形式表述以便帮助记忆和最初的理解，但系统学方法的实质在于它坚决主张规律的可用性，即对于严格定义的模型需要时可以进行严格的操作。在一定程度上，这种主张是对过去研究中数系统的方法所产生的不良影响的一种反弹，这些方法大部分可以归纳为**有机论**。面对具有有机复杂性的系统，一些思想家试图以生命系统为模型，将与生命系统相关的知识**类推**到其他系统，从而获得某种处理复杂问题的方法。

例如，赫布斯(Hobbes)把国家这种"政治躯体"，从字面上对照为一个巨人的身体，其各个器官代表了各式各样的政府机构。拉马克(Lamarck)认为植物和动物具有某种能够指导其自身物种进化的"智能"(参见图 2-1)。这种类推方法的困难首先就在于缺乏对参与类比的各个相似体的实际了解，何况赫布斯对生理学的了解既不准确也不完整，他又怎么可能指望从人体得到关于国家的有用结论呢？拉马克当然不比今天的我们更了解"智能"是什么东西，那么从拉马克演化而来的模型又能给我们什么呢？所以现在的许多建模，实际上走的是另一条路。[3]

实际上，有时候我们可以对一个不太了解的系统进行建模，并因此而增加对它的了解。如果事先知道相似体的**某些知识**，就有可能提出新颖的观点。至少，相似体可以触动我们的头脑——上帝知道我们是需要这样的触动的。不过，有机论所采用的类比实际上没有那么仔细，它的方法不是类推不严密，就是对于相似体的了解不充分。系统化思想家希望通过尽可能严



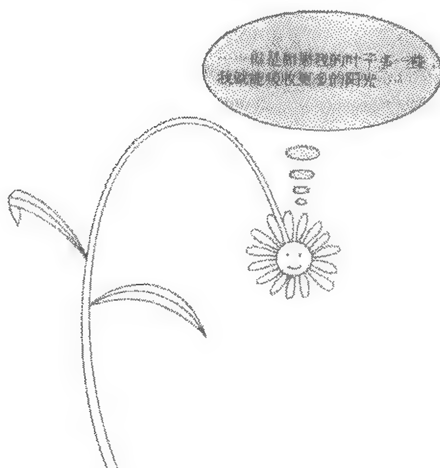


图 2-1 拉马克认为植物具有某种指导自身进化的"智能"

谨的模型来避免这些问题。

如果没有这样的严格性要求，我们就很容易忽略模型中那些不和谐的部分——那些使有机论者因此受到严厉惩罚的部分。但话又说回来，我们也不应该在这方面过于严格，因为我们不能把提出的模型看得过于认真。我们没有创造世界，我们只创造了模型。不管反对者怎么说，有机论者是这样做的，画家是这样做的，科学家也是这样做的。

任何模型都是**一种用我们认为已经了解的东西去表示另一种我们想要了解的东西**。推理的过程可能是上百步，也可能是单步的逻辑判断，但最终总是会得到我们认为无需继续探究的一些原始结论。对于具有解释"能力"的科学而言，这些原始结论不能太大，也不能太小。例如，相信万物有灵的人将每一个物体的行为归结为具有惟一的精神，如果树倒了，那是树的精神使然；岩石没有移动，也是岩石的精神使然。在西方宗教中，这样的解释是远远不能令人满意的。

有些人热衷于把所有的事物归结为单一的原始结论。如果树倒了，那

是上帝要它倒的;岩石没有移动,那也是上帝让它这样的。然而,如果一种东西能解释一切,也就等于没有解释任何东西,至少科学的观点是这么认为的,而这也正是有机论理论与科学理论相冲突的原因。

机械论者声称任何现象可以归结为物理原理、物理和化学原理。他们并没有将这个结论应用于"每一个现象",而是仅仅发表了这样的论述。一些有机论者针锋相对地指出,并不是所有的现象都可以归结为物理或化学原理——由于"生命原动力",或者"活力素"的存在,生命系统的进化过程较早地停止了。"活力素"本质上并不比"质量"神秘,但有机论者却把所有不能解释的现象都归结到"活力素"上来。这也就说明,它事实上不能解释任何现象,因为,像上帝一样,它解释了所有的现象。

无论这种用于解释的原始结论或者本原观念还有些什么作用,它根本不鼓励科学的探索。科学的研究对象,就是那些可以还原简化为对其他事物的研究的东西。换句话说,科学实质上就是还原,还原论者有理由说活体论者是不科学的。一旦还原论者能够将"有机的"现象还原为简单的物理或化学原理,那些"有机论者"的支持者也该向后退了。

然而必须指出的是,还原论者还没有成功地把一切现象都归结为物理和化学原理。他们到底能还是不能,这是一个纯粹的哲学问题而不是科学问题。毕竟,现实世界中仍然存在着众多的中数系统——有很多并不是任何意义上的"生命系统"——用物理或化学原理都无法"解释"清楚,其中有相当多的系统我们无法视而不见、坐等还原论者通过还原给出结论。

还原论说到底还是一种信仰,一种导致科学家从事观察实践的信仰,因为他们相信如此能更好地"理解"世界。但是,即使物理学家也决不会依赖于他的还原论信条而生活,他不会把菜单上的食物还原成长度—质量—时间—电容……之后才决定晚饭吃什么,相反,他采用了其他的原始材料,如色、香、味、价格……这些构成系统的单元。就是在实验室中,他也不是依靠他的大部分原理来工作,而是采用某种"强有力的"支持装置,或者用某种"稳定"的计量器。实际上物理学家是运用了万物有灵论者的类比方法,才做出了出色的物理学研究。

我们想说明的是,在倒掉澡盆里的活力素这种洗澡水的时候,不要把有机思维这个婴儿一起倒掉。活机论不是进行思考的定式,恰恰相反——它宣告某些东西无需再加思考。另一方面,有机的思维依赖于类推,是牛顿那



个时代前后的每一位物理学家都运用的方法。对思维过程的某些步骤加以适当简化的处理方法，可使科学史上任何一位重要的思想家都从中受益。重要的是，当实际情况需要我们继续前进的时候，我们绝不能停留在简单粗糙的类比上，而应当将其打磨成精确、清楚并具有预测能力的模型。

在我们生活的时代，对生物系统的了解已经远胜于一百年前，所以有机的类推会产生更多的成果。然而，系统学方法却无需囿于单一的有机类推。只要我们能够把一个科学问题用明确清楚的形式表示出来，我们就可以用类推的方法建立任何其他领域的模型——但这种类推的数学特性必须是已知的。因此，我们希望理解各个领域的思想家应用类推的方法，并就此与他们充分沟通，在需要的时候，将他们的方法转化成模型。

科学家及其分类

说到底，人类是形而上学而又狂妄自大的，他们甚至认为，自己头脑中产生的与其感觉相符的种种空想，是对客观世界的真实反映。[4]

克劳德·伯纳德(Claude Bernard)

如果我们试图发现不同学科在思维上的共性，首先会遇到许多认识论问题——"我们又如何知道我们了解了什么?"但这里我们不打算采用哲学方法来对待这个问题，而是相反，采用实用的方法，也就是说，我们不问"我们如何知道自己了解的东西是正确的?"，而是问"我们自认为是知识的那些东西是如何获得的?"换句话说，我们的兴趣在于**思维是如何进行的**，而不在于证明这种思维是对还是错。

思维的绝大部分依赖于完全个性化、特质化的形式，以至于我们无法对思维的过程进行交流和沟通。不过，在思维方式上，既存在一些明显的类别，也有一些可以通过适当的内省而明显化的类别。幸运的是，我们的兴趣更偏向"科学的概念模式"而非"精神上的错觉"，所以可以依靠对公众行为的某种测量而开展研究。

在所有的科学家中，人类学家关于社会团体进化过程概念模式的思考更接近于我们的工作。不过，共同工作的人们会促进亚文化的发展，在这些亚文化中我们也能发现概念模式。采用共同和标准的思维分类方法 — 这



些分类方法一般是通过借助于专门的名词术语表述——这些小团体可以简化内部交流过程。不过近乎荒谬的是，用于团体内部的交流机制越有效，团体成员与外界的交往也越困难。

当人类学家试图通过“参与者—观察者”的身份研究某种文化时，她①就会遇到类似的问题。要想成为“参与者—观察者”，首先必须成为参与者，可能先要学会当地的语言——甚至更多的是需要掌握非语言的各种交流方式。[5]同样，融入某种工作亚文化，首先得学会这个亚文化的思考方式和交流方式。

在现代的工业化社会中，大多数人都在多种多样的团体中生存，所以我们不仅要学会各种亚文化模式，还要学会如何有效地从一种亚文化转换到另一种亚文化。物理学家从天体力学转换到汽车力学时不存在多大的困难，只是在试图标识出那些阻碍他与其他物理学家进行交流的类别、模式时才会感到困难，并且在最终标识出这些类别之后，他往往把这种困难的原因归于汽车这一“陌生”的领域。而在人类学家那里，这类偏见就是“民族优越感”。

民族优越感公开宣扬的一种表现就是认为自己的文化比那些自己并不了解的民族的文化“优越”得多，甚至说那些土著居民“不能理解我们，尽管我们正说着清楚标准的英语”。只要我们将“白种人的包袱”强加于土著居民，他们就会把我们当成领袖、甚至奉为上帝。毕竟，“在盲人的国度里，独眼人就会成为国王。”

不过，事情不总是如此。正如 H. G. 威尔士在小说《盲人国》里描述的一样，一个独眼人偶然地进入了盲人王国却没有成为国王，因为他与众人不同，甚至被视作蠢笨的、病态的人。由于分类系统在社会团体中所具有的重要性，并不是外来的“好”系统能够成为统治者，而是完全掌握了系统内在机制的内部人才会胜出。如果这样的“领袖”人物被派到其他系统中去，他的“本质才能”将不复存在，并且很可能沦为严重的残疾人。

另一方面，有些人很难融入自己所处的自然团体，却常常能相当成功地融入其他文化。举例来说，人类学者就是这样一种人：他们对于种种的异国文化具有很强的适应能力，可是一旦回到自己家中，对本民族的文化却难有

---

① 如果这里的“她”让你感到惊讶，你的一种思维类型就体现出来了。——作者注

水乳交融的感觉。他们在家吹毛求疵，在外却如鱼得水。

存在于科学之中的学科分类也形成了种种社会团体，因而也会产生内部交流所使用的分类模式。托马斯·库恩在《科学革命的结构》[6]一书中就开始研究新的思维模式如何取代旧的模式；一种思维模式如何代代相传；思维模式又是怎样促进和阻碍科学进步的。对于沿用现有思维范式的“常规科学”和对原有的思维方式进行批判和变革的“科学革命”这两者之间的差别，库恩进行了特别的区分。

如果把社会中存在的各种分类模式推广到科学研究中，那么，所谓“科学界的精英”就是那些最不可能做出科学突破的人。库恩得到的这个结论与马科斯·普朗克(Max Plunck)在《科学史传》[7]中所述不谋而合：

> 新的科学真理往往不是通过说服对手接受真理而取得胜利，而是因对手最终死去、熟悉它的一代新人逐渐成长起来而取得胜利。

平均来看，每个科学家大概最多只能做出一个重要的创新。即使一个科学家有足够的能力在自己的分类领域中做出一项创新的同时，还能参与其他分类领域的研究，他的成名也是来自于在个人主要领域的成功，而很少来自于另外的创新。

与上述结论相悖的现象是，一些科学家在不同的领域中都获得了成就——不是因为他们改变了自己的思维模式，恰恰相反，他们将自己的思维定式原封不动地从一个领域搬到了另一个领域中。殖民者不一定要掌握殖民地的分类系统，仍然能借助全新的统治方式而成为统治者，就像一个人并不需要学会当地语言，只要全城只有他拥有一支枪、大量子弹以及开枪打人的念头就可以了。

在英格兰建立大英帝国的时候，继承了白人特性的英国年轻人在自己的家里很难取得成功。他们不乏智慧，可是僵化的社会体制不能给他们提供成长的空间。同样，无论是缺乏智慧还是缺乏空间，有些人在自己的专门领域中难以取得成功，于是他们试图将本领域的思维方法应用到另外的专门领域中去。所以，“交叉学科研究者”一般来说不是我们通常所称的“通才”，他们仿佛是鼹鼠，对某项事物了解得十分透彻，再一次次地把它运用到与此相关的任何领域中去。

与此相反，“通才”就像狐狸，知道很多东西。在没有枪的条件下，人类

学者依然能够在多种文化中生存，某些科学家也能成功地适应多个不同领域的分类体系。他们是怎样做到的呢？每问及此，他们都承认因为坚信科学中存在内在统一性。尽管他们只有单一的思维方式，但这是一种站在高起点上的思维方式，在这种思维模式中，不同领域的思维方式具有诸多相似性，尽管它们常常以不同的表达形式表现出来。

肯尼斯·伯丁(Kenneth Boulding)曾经把通才比做旅行者。来到曼谷，他们会联想起匹茨堡，因为都是城市，都有道路和人群。像旅行者一样，通才把自己从对陌生之地——也就是陌生的分类系统——的恐惧心理中解脱出来的方法，就是通过不断提高普遍思维的层次从而得到熟悉舒适的环境。系统化思维中这种逐渐向上的思考方法，与人们获得最初的思维定式的作法是相仿的。

在创造分类系统的时候，认为一种思维模式比另一种思维模式更为"真实"的想法最容易使人走入误区。例如，地球上很多地方都能看到太空中的星星这种"客观"景象，而且每种文化都把这些星星当成我们熟知的物体中的一员，仿佛是动物、邻人或者厨房下水道。尽管这些与星星在事实上存在差异，但每种文化都"真实地看到"了自己的景象，因此他们常常崇拜某些星星，而且公然"无视"他人文化中对于同一个星星的不同景象。天文学家声称发现了太空的真实顺序，但是我们如何判断他们这种说法相对于其他说法的可取之处呢？如果我们强调"有用"，那么任何一种文化都能像"真理"一样找到自己的说法，因为谁也不能理解他人的说法，就更谈不上有用了。如果我们强调的是内在的"真实"，面对信仰上的争论，我们又将如何宣判与你相对的宗教信仰是错误的呢？

从心理学上来看，坚信自己领域的真实性对科学家而言是重要的，但这种坚定的信念往往会减少他做出科学突破或者转换到其他领域的机会。对于交叉学科的传播者而言，这种信念更为重要。就像枪阻碍了新来者与当地人的交流一样，交叉学者单一的思维模式也将大大妨碍他在研究领域中的学习。

要想成为一个出色的通才，就应该对任何事物皆不存信念。在罗素(Bertrand Russell)看来，信念，就是没有任何证据而相信某种事物。信念中的任何条条框框，都会阻碍思维的自由，因而阻碍通才们在各个领域之间自由穿越。雷琴巴赫[8]提出：



对推理能力的追求不在于要求推理的结果与我们的想像相符，而在于让我们的思想从经验和传统的束缚中解放出来，获得思维的自由。

系统论信念的主旨

对于刚刚开始职业生涯的年轻人，我的忠告是：用他新鲜、不教条、没有偏见的头脑去思考大事情的大致轮廓。[9]

H. 塞耶(H. Selye)

但是，没有人能脱离信念而生活。没有信念，我们就不能把一只脚移到另一只脚的前面，因为不知道前面的地面能否支撑我们的体重。我们甚至不能站得很直，因为不知道脚下的地面是否一如表面般坚实。一般系统论不会使我们毫无信念，而是设法用一种信念补充另一种信念的不足，并且希望新信念在有些时候更加有用。

那么，在什么层面上，系统化思维模式认为自己是有用的呢？最主要的回答似乎可以用伯丁所说的"一般系统论的主要信念"来说明：

(一般系统论的主要)信念就是：经验世界自身的序具有一种被称为二阶序的序。[10]

伯丁认为通才会：

他高兴地发现，自己发现关于规律的规律时的狂喜心情也成为了一种规律。他认为在他眼中规律是好的，关于规律的规律也是甜蜜的、值得去追求的。

这种信念与饥渴，可能徒劳无益。然而，如果**确实**存在二阶序，那么对寻找一阶序的人们肯定是大有益处的。

从某种意义上说，一阶序蕴涵了二阶序。发现一般系统论规律的主要方法是**归纳**。系统论的研究者从不同领域中存在的规律开始，寻找其中的相似性，在此基础上提出了新的关于"规律的规律"。这时，各领域的一般规律就成为它的特例了。

通过**归纳**进行一般化处理，使我们可以用一般规律对未经观测的情景推出某些结论，这也是通才之所以能从一个领域跳到另一个领域的原因。

每一次成功地转变之后，他都会相应地增加对二阶规律的信任程度。

所以，一般系统论信念的主旨并不完全基于信念。当然，信念是必要的，因为不是每次领域间的跳跃都能成功。为什么？因为归纳方法不可能永远有效。通才似乎是在一个非常普遍的空间里思维和工作的，他像其他科学家一样在应用归纳的结果。哲学家们曾经殚精竭虑地试图证明归纳法是普遍有效的方法，但现在，聪明的哲学家已经放弃了这样的努力。雷琴巴赫[11]说：

> 当我们试图建立一般性真理时，我们需要用归纳法来提供对未经观测的事物的参考；因为需要，所以我们情愿承担它的风险，即，它也可能导致错误。

然而，我们为什么不更谨慎一些呢？为什么不能等得到更多的证据时再下结论呢？原因在于，一方面知识以惊人的速度爆炸性增长，另一方面，我们的大脑受到"计算的平方律"的限制：

> 当今社会，即使那些新新人类也无法指望他们懂得的知识能比有些人的知识之冰山一角多出多少。因此，一般系统论学者经常在黑暗中跳跃，经常在没有足够证据时得出结论，经常愚弄自己。事实上，愿意愚弄自己是进入一般系统论学界的必要条件，因为这种意愿常常是快速学习的先决条件。[12]

要成为成功的通才，我们就应当像儿童那样，用一种天真简单的态度来接近复杂的系统。有充分的证据表明，儿童就是用这种方式来理解许多复杂思想的：首先形成总体概貌式的印象，然后再逐渐细化并区别很多具体的物体。皮亚杰(Piaget)在书中这样描述他的观察结果：

> ……一个不认识字母和音符的 4 岁孩子，通过一天或者一个月的观察就能简单地根据题目和那页书的样子而分辨出书中不同的歌曲。对他来说，书中的每一页都代表了一种特别的模式，而对于我们识文断字的成年人而言，每一页的形式都差不多，其区别只在于文字上的差异。[13]

由于识文断字，成年人在深入具体内容之前往往不再试图看看整体是什么样的，他们在读写方面的高级分析能力淹没了这种能力。不过，大人们

还是保留了一些语言之外的能力，比如我们可以认出城市里一个没有任何标识的街区，也能敏感地察觉出一些不可言传的变化。

确切地说，我们的感觉可能使我们犯错误。在印象里我们是到过这个街区，而进一步的分析可以证明其实这是我们的错觉。但在科学中，正如塞耶所说："贫瘠的理论与错误的理论存在天壤之别"。[14] 在一个有点熟识的环境中迷路的时候，我们需要利用总体印象迅速找到通向更为熟悉环境的路径；当我们发现自己找错了街区的时候，这个错误其实就已经纠正了。如果我们非要看着门牌号码一个街区、一个街区地找下去，就赶不上回家吃晚餐了。

任何方法，不管分析型方法还是综合型方法，都能够确保指出一条通向理解的正确道路，但是，每一种方法又都存在这样那样的错误。基于对二阶规律的信念，我们从一个领域大跨度地跳到另一个领域时，也往往出错，但至少我们能很快发现这些错误。如果时间是重要的因素，那么缓慢而无误的分析方法能够保证的也许就只有无法按时完成任务了。雷利爵士（Lord Rayleigh）曾说过：

> 把基于精心设计的实验所获得的结果包装成"规律"的形式，说成新发现，这样的事情并不少见，其实这些结果只要经过几分钟的思考，就能够作为先验知识预测出来。

这就是分析所固有的毛病。虽然从长远来看分析往往会回报我们的耐心，但就像肯尼斯所说的，这种长远会延续到我们死后。所以，那些没有耐心等待精确分析结果的人会被系统论所吸引。不过，仅仅没有等待的耐心还远远不够，要想成为出色的系统论学者，还必须学会忽略具体的数据去观察事物的"概貌"。

看看对立的理论可能更有助于我们理解系统论的实质：维塞默（Wertheimer）[15] 笔下的奥地利督学是这样的：

> 故事发生在奥地利帝国时期的摩拉维亚（捷克和斯洛伐克中部一地区）的一个小村庄。一天，帝国教育部的一个督学官来到这个村子检查这里的学校，因为对学校的例行检查是他职责之内的事情。快要听完一节课的时候，他站了起来，说："看到你们都学得很好我很高兴，这个班级很好，我对你们取得的进步非常满意。所以，在离开之前，我想

问大家一个问题：谁知道马有多少根鬃毛?”令督学和老师感到意外的是，一个9岁男孩很快举起了手。他站起来回答：“马有3 571 962根鬃毛。”督学惊讶地问：“你是怎么知道的呢?”孩子回答说：“如果不信，你就去数一数。”督学大笑起来，对孩子的表现非常欣赏。在老师沿着走廊送督学出门的路上，督学还一直笑个不停，他说：“多有意思的故事，回到维也纳，我一定要把它讲给同事听。我甚至想得出他们会有什么反应，这简直是个绝妙的幽默故事。”就这样，督学离开了学校。

一年后，督学又来这所学校进行例行检查。在送督学出门的路上，老师停下来问道：“督学先生，顺便问一下，你的同事听完马鬃毛的故事后反应如何?”督学拍了拍老师的背，“哦，”他说，“你知道我是多想快点给他们讲这个绝妙的故事，不过，我没讲成。回到维也纳之后，我死活也想不起马到底有多少根鬃毛了。”

系统论规律的本质

过度简化可能使我们所获得的那些敏锐、清晰的结果中隐藏了一些曲解或错误表达，因此采用简化的方法也会遭人非议。不过，这就像是教师所面对的永恒悖论：教事实和图表，还是教真理。要使学生理解一个模型，教师必须用具体的图表数据加以说明，同时还要对一些根本看不到的东西清楚地在先声明。学生们必须先“学习”一些东西，随后再认识到那些东西**并不是**他学到的那个样子，但到那时，他已经开始进入事物的本质，也开始接近真理，从这个起点开始，在他以后的生涯中就可以不断地修正、不断地接近真理。[16]

卡尔·曼宁格(Karl Menninger)

迄今为止，我们已经讨论了类推、分类系统、一般化，以及系统化思维的其他一些工具。从现在起，本书将解释“定律”的运用。在开始之前，有必要对科学定律的某些特性进行一个回顾，而规律的这些特性在标准的著作中是不太强调的。

具体说来，请记住：

科学判断的模式是：“如果……，那么……。”[17]



我们之所以常常忘记科学规律是有条件的，是因为这些科学定律常常用非常简单的语言描述，而省略了判断模式中前面的条件部分。这一部分必须省略，因为如果不这样，全部写出来就太长了。举个例子，人们这样描述热力学第一定律：

> 系统中的总能量守恒。

要是把它更详细地写出来，就是：

> 如果一个系统的能量既不减少也不增加，对它的总能量进行测量，而且在测量过程中既不减少也不增加能量，那么我们每次得到的测量结果应该是一致的。

还可以写得更精确、更详细，不过那样就显得太冗余了。当然，记住后者要比记住前者困难得多，更不要说再进一步详细描述了。

然而，有时候我们依然需要非常精确地说出“如果出现了什么什么样的条件，那么就会产生什么什么样的结果”。比方说，我们真的一次又一次地测量同一个系统拥有的能量，而且发现每次结果都不相同。我们就可能得出下列结论：

1. 能量守恒定律不适用于本系统；

或

2. 有能量注入或者溢出（即测量过程中存在系统内外的能量交换）；

或

3. 测量不准确。

最大的可能是我们仍然坚持能量守恒定律，因为它先前已经经过了许许多多的实验证明。虽然从理论上说，一个反例就能够迫使我们拒绝接受能量守恒定律，但是实际上很少有人会这样做。

首先，我们最有可能怀疑自己的测量结果是否准确。在这种情况下，我们会以能量守恒定律为指导来定义“系统中的总能量”：

> 假设一个系统没有与外界的能量交换，当我们对该系统的一个属性进行测量，在测量中也不发生系统内外的能量交换，如果对这一属性的测量结果是变化的，那么这个属性就不是系统的总能量。

当然，我们也可以得出另一种结论，说系统发生了能量交换。在这种情

形下，能量守恒定律就成为“封闭系统”的部分定义，或者提醒我们去寻找一个“开放系统”：

> 如果我们对系统的总能量进行测量，而且发现每次测量结果都发生了变化，那么说明系统不是封闭的。

另一种更为极端的做法是为了继续维持能量守恒定律的适用性而去改变“总能量”的定义。爱因斯坦提出著名的质能守恒方程时就是这么做的，从而保持了能量守恒定律的不变性。

$$E = mc^2$$

这个方程的意思是：物质可以**转化为**能量，反之亦然；或者说物质是能量的**一种形式**。上面的第二种做法保持了能量守恒定律的不变性，第一种同样也保持了不变性，不过增加了一个“如果……”的条件：

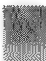
> ……如果系统中没有发生物质和能量的转换……

现在，我们看到了定律在科学思维中的多面作用。它能够指导如何进行测量，定义必要的名词术语，提醒我们寻找以前未曾留意的东西，预测未来的行为。它也可以提出一些焦点问题，促使我们去讨论测量方法、术语意义、寻找启示以及解决问题的技术。同一条定律可以包揽以上所有功能，当然不是同时做到这些。要学习科学的思维，就不能死记硬背已有的科学定律，而是掌握因时因地应用不同的定律。

如果一条定律包含多层条件关系，就很难记住到底该在什么情况下应用这条定律，因为每一个“如果……那么……”从句都缩小了定律的适用范围。定律中“如果……那么……”越少，它就越普遍。我们可能会面对这样的选择，或者在原有的定律中增加一条“如果……那么……”，或者改变术语的定义，很多情况下我们应该选择后者。这样，在能量守恒定律已经经受了上百年无数实验的考验后，我们仍可以通过不断改变“能量”的定义而使它继续成立。

一旦我们发现测量结果与成熟的定律不符，不到最后我们是不会想到要去改变定律本身的——这与一个反例就可以推翻已有科学定律的普遍现象恰恰相反。这里，我们其实可以提炼出一个新的一般定律：

> **发现观测到已有定律常常有偏离，可以拒绝接受这一事实或者改变定义，但是决不要推翻定律。**



这一条可以称为**定律守恒定律**。

科学是遵守上述“定律守恒定律”的，因为科学定律中包含许多有价值的内容，在发现它“不合理”时不能简单丢弃。然而，在存在过程中，科学定律会被一个个条件、一条条定义、一个个特例所淹没，尽管对于越来越窄的问题，科学定律还能够给出准确的答案，但最终将失去其原有的简洁表述直觉知识的味道。

本书所用的“系统论定律”，不是用来产生答案的，因此，不排除它们出错的可能性。我们的假定是，如果需要从系统论定律中获得精确的结论，就必须充分考察其内在含义。因此，我们要做的事情就不是给定律**披盔戴甲**地加上各种限定条件，而是尽力避免复杂化使其易于记忆、保持原有风味。更进一步地说，科学定律的命名应该尽可能采用睿智的短语、易记的名字，从而帮助大众更容易地记住它。也许用“格言”来称呼它更好一些。不过，“规律”或“定律”已经是一个很好记的名字了。

基于某些未知的心理学原因，人们最容易记住定律的方法是记住否定形式，例如**不适用的情况**、**反例**，甚至更好的是“**悖论**”。能量守恒定律的另外一种表述形式是：

> 永动机永远不可能制造出来。

当我们发现热力学第一定律不能排除某些类型的永动机——虽然第二定律可以排除——我们就修改这里的“永动机”的定义，产生了现在称为“第一类”永动机的定义。当然，这里被称为第一类的永动机就是第一定律不能制造出来的那些永动机——在能量守恒定律完全适用的条件下的永动机。

系统论的很多定律都可以用多种不同的方式表达：定义、测量指南、启发性的东西、最容易记住的否定形式。开始时我们常常采用近似的说法以便展开讨论，然后逐渐采用精确的描述，不让“第一类”、“第二类”这样的词干扰读者的注意力。错误的定律也可能是有用的，但是，如果一条定律在你需要用时而你却无论如何也想不起它来，那么它绝对一无是处。因此，千万不要把我们的定律看成对思维的束缚，而要把它当做一种**刺激**。

用图例的方法来描绘定律更加有助于我们记住它。我们希望避免空洞的概括，不仅因为概括的依据过于宽泛，而且因为“很大程度上，一项很有价值的成果、一个令人欣喜的特性容易被一般化所淹没”。[18]对每一条定律，本书努力寻找两个“喜悦特性”，有时还作为章后所附的思考题出现。任何自

调为"系统论定律"的东西，至少应该适用于两种情况——一种是提炼该定律的情况，另一种则是应该存在另外一种适用情况。

并不是所有系统论文献都能符合这个要求。这里，我们也可以把它提升成为一条"系统论定律"，也可以称为"**喜悦特性定律**"：

> **每一条一般定律至少应当适用于两种情形。**

或者，像肯·伯丁（Ken Boulding）的太太在发现他过于远离事实时提醒的：

> 要想成为通才，你总得懂点什么。[10]

出于对同事的礼貌，这里我不拿伯丁的两个具体事例做例子，而是举一个自己的例子。读下去您就会发现其他的例子。

过度一般化究竟是笨人该犯的错误还是英雄该犯的错误，取决于你个人的观点。过于胆大可能造成过于一般化，过于胆小也可能造成不够一般化。与"喜悦特性定律"相对，有如下的"**沮丧滥用定律**"：

> **任何一般规律至少应当有两个例外情形。**

或者，用否定形式来强调如下：

> **如果你从来没有说错的时候，等于你什么也没说。**

请读者们自己想出"喜悦特性定律"的两个例外。

特性定律和滥用定律可用于任何一种一般化的提炼行为，还有一些定律则适用于系统化思维的"系统"方面。这里，我们又会遇到两种互补的错误——组合和分解。请看组合错误的一个实例：

> 我站在桥上朝河里吐口水，发现河水的纯度并不因此而有所改变。因此，我就到投票站，对发行河水治理工厂债券的提议投了反对票。

再来看看分解错误的一个实例：

> 我站在桥上，发现河水很干净，所以我的结论是，没有人向河里吐过口水。

有两个定律可以使我们不犯类似的错误。一个是**组合定律**，它可以追溯到亚里士多德，它表述为：



> **整体大于部分之和。**

另外一个是**分解定律**，它表述为：

> **部分大于整体的局部。**

请注意这两条定律看上去是矛盾的，所以也就难以被人遗忘。

我们为什么需要记住它们呢？系统论定律到底有什么用？因为定律如此一般化，系统又如此复杂，我们不能依靠它们来获得准确的估计。但是，正因为系统的一般化和复杂的特性，系统论定律才能帮助我们在通向准确估计的道路上避免犯大的错误。“不是未知的东西使我们感到困惑，而是我们自认为已知但实际上并非如此的东西给我们带来麻烦。”

系统化思维的类型

> 模型的主要功能不全在于解释和预报——虽然最终这确是科学的作用——而是它能够确定思维方法，提出尖锐问题。最重要的是，科学能享受发明并运用它的乐趣，拥有特有的生命，在模型中比在生物界中更多地采用了“适者生存”原理。但是，科学不应该不考虑真实需要或真正的目的就不加区别地放大、繁殖。[28]

凯克(Kac)在提到数学模型时，描述了将它正确地运用到一般系统模型所带来的快乐、好处以及应用实例。他指出在三种情况下涉及模型的使用：

1. 促进思维过程——“确定思维方式，提出尖锐问题”；
2. 研究特殊系统——“真实需要或者真正目的”；
3. 创造新的定律，改进旧的定律——“发明并加以运用”。

我们可以用上面的框架来回顾本章十分粗略地提出的“系统论方法”，并作为本书后面章节的前言。我们可以从**改进思维过程**开始，因为这是能够为大多数人所用的方面。少数人致力于新的一般系统定律的发现，并不是所有的人都埋头研究具体的系统，大多数人则是对思维方式感兴趣。

系统论方法对思维的贡献恐怕可以从系统论学者如何接近新主题的过程得到最好的体现。学生们应该对系统论的这类应用特别感兴趣，因为每学期他们都会被许多新课程压倒。四年下来学生们接触了各种各样的新课，头脑变得麻木，以至于很多毕业生在脱去学位服、摘下学位帽之后发誓



再也不学新课了。系统论方法许诺在接触新主题时不那么痛苦，从而把教育和学习的过程从令人生厌的过程变成享受的过程。

系统论学者如何接近新的主题呢？假定他要学一点**经济学**的知识，他可能按照当地大学开设的与此相关的导论课给出的提示找来一本教科书，也可以在当地图书馆浏览经济学著作。当他翻开这样的书之后，他不是完全从头开始，因为他的脑子里已经有许多关于思维和交流的一般模式，他也聪明得可以剥开经济学的外壳。

举例来说，假设他找到的正好是萨缪尔森(Samuelson)的《经济学》。[2]在第 2 章他会看到许多"生产潜力"曲线（如图 2-2 所示），几乎不用任何解释，他就会明白这不过是更一般化的**状态空间**的特例(将在后续章节中讲述而已)。经济学家称为"生产潜力边界"的东西，就是系统论学者所谓的具有相同属性的**一组系统**，曲线上任一点代表了这组系统中的一个特殊系统。他知道在状态空间中从一个点到另一个点的运动，就是**行为曲线**，那么他所了解的有关行为曲线的所有知识就会立即传递到这种新的环境中。

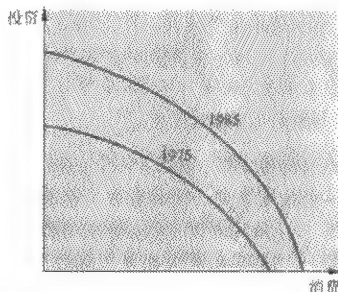


图 2-2　经济学家的"生产潜力"就是一般系统论学者的"状态空间"

由于一般系统定律自身的本质特征所致，在经济学家看来，传递过来的内容就可能很少。尽管如此，系统论学者已经处于比其他人更具优势的位置了，因为他就像是在曼谷的旅行者一样，不再畏惧陌生的环境。他给这种野兽命名，然后才慢慢地驯化它。

随之，系统论学者会采用思维方面的一些分类模式，因为这些是模式的一般化本质，当他接触新主题时，就不太容易完全失败。他有自己的名词术



语，比如稳定性、行为、状态空间、结构、规则、噪声和调节等，并且能很方便地与新领域的专有名词联系起来。如果足够聪明的话，他就尽可能不说"噢，这不过就是二维状态空间中的一条行为曲线。"这一类的话，而是先在心里进行名词翻译，然后提出一些在专家看来也十分"尖锐"的问题，让他们大跌眼镜。

系统论学者遇到专门领域里的定律时，也常常与系统论中已知的"定律"相联系。他会识别出将一般定律转变成可用于经济学或者其他学科的特别的假设条件。例如，他可以把经济学中**利润递减定律**看成**有限元定律**的一个实例。当然，他并不是要夸口经济学定律只不过是一般定律的特例，尤其是当他了解到可能正是这条经济学定律导致了发现一般定律的时候。对他来说一条定律是另一条定律的实例，而从**起源**上看，系统论定律可能正来源于经济学。

系统论方法也可能使学生在面对学习新课题时节省思考的时间。在研究形势或者**特殊系统**的时候也会介绍类似的情况。根据我们的经验，系统论方法是学习**信息系统**[22]、**复杂机器**[23]、**社会系统**[24,25]、**个人和团体**[26]以及**教育系统**[27]的一个起点。许多人指出，系统论方法对于气象学、政治学、生物学、社会学、精神病学、生态学、工程，以及你能说出名字的任何学科的学习都大有帮助。对具体实例感兴趣的读者会发现系统学研究会的年度报告集[28]是一个矿藏丰富的金矿。不过，需要提醒的是，报告集收录的只代表了系统学方法众多实际应用的一小部分，因为还有很多应用并没有发表在任何出版物上。特别是系统化思维的大多数应用并不体现在专业人士身上，而是体现在普通百姓处理日常事务的过程中。

系统学研究的年度报告也收录了系统学方面的第三项活动——**产生新的定律，修改旧的定律**。为了与**系统化思维**和**系统学应用**相区别，我们把它称为**系统学研究**。在系统论三方面的活动中，系统学研究涉及的人最少，因而这成为专门人士的兴趣所在。对于如何开展系统学的研究，我们说不出它与其他学科的研究有什么本质的区别。我们确实拥有一些**非常一般的系统定律**——比如喜悦特性定律——是可以实际指导系统学研究的，而系统学中的大多数研究与其他学科的神秘研究方法并无大的差别。

围绕一般系统开展的活动起初没有想形成一个专门学科，它是在发展过程中逐渐形成的。冯·贝塔朗菲在1969年出版的书[29]的前言中总结了

系统学领域30年的相关活动，并且提醒我们会发现：

> ……系统理论——起初是试图克服目前研究中存在的过于特殊化的趋势——其实是另外一门包含几百种学科的理论。更进一步说，系统科学以计算技术、控制论、自动化、系统工程为中心，显然已经使系统思想成为另一种——也是最终的——技术，使人们头脑更加敏锐，使社会变得更像一部"庞大的机器"……

多年以前，在学术机构还没有那么官僚、国防基金也开始介入系统学研究的时候，我收到过一封写给"亲和系统研究学会"的信。当我心怀不安难以想像"系统学运动"可能发展成什么样子时，常常回想起这封信。我在思索系统学发展下去是否还会给文雅温和的人留有空间？我们是否可以不去建造"庞大机器"，而是去建造亲和的体系？

这种念头从何而来？因为系统学的发展很可能重复其他学科的历史——过河拆桥，数典忘祖。它没有回头路可走，就如同狂热的信徒一样。我还想做最后的尝试，这项工作，就是试图把系统学带回到它应该服务的普通百姓身上，这是一种拼死努力。

参考读物

推荐阅读

1. Kenneth Boulding. "General Systems as a Point of View." In *Views of General Systems Theory*, Mihajlo D. Mesarovic. Ed. New York: Wiley, 1964.
2. H. G. Wells, "The Country of the Blind." In *The Country of the Blind and Other Stories*. New York: Nelson, 1913（也可参见威尔士的其他选集，如 *The Complete Short Stories of H. G. Wells.*）

建议阅读

1. Thomas Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, 1962.
2. James D. Watson, *The Double Helix*. New York: Atheneum, 1968.

思考题

1. 人类学

墨西哥有一个盲人村，一位盲人人类学家正在那里开展调查研究。他猜想，这样一个全部是盲人的村庄应该存在一些有别于明眼人村庄的特有的文化现象。请问，是这位学者的盲人身份还是他的墨西哥人身份使他本人与这个盲人村庄存在更多的相通之处呢？如果有一位独眼人类学家也来研究这个村庄，他又会得到怎样的不同结论呢？

2. 科学史

历史上关于有机体分类学的综述请参见：

Howard Becker and Harry Elmer Barnes, *Social Thought From Lore to Science*, 2nd ed. Washington, D. C.: Harren Press, 1962.

你认为有机体分类学的思想对科学进步有影响吗？怎样评价活力论者与机械论者的激烈争论？在今天的生活中，你能找到相似的例子吗？

3. 分子生物学

当前，主要的科学进步之一当数分子生物学。在这个领域中，标志性的成果之一是发现了DNA的双螺旋结构（因此而获得诺贝尔奖）。我们很幸运地找到了其中一位发现者的以下著作：

James D. Watson, *The Double Helix*. New York: Atheneum, 1968.

以及其他很多已发表的文献，来反击那种说科学家从事的是吃力不讨好的研究工作的说法。用这本书的例子以及反对它的说法，讨论分子生物学中的变化模式，以及它对于研究者的实际意义。

4. 二阶序

“二阶序”是一个很难理解的概念。我们不清楚我们看到的“序”究竟源于何处。为了说明寻找二阶序的困难，我们举一个较好的例子，就是仔细观察各种表格中数据的首位数字，可以发现它不是均匀分布的，而是集

中在一些小数字上，特别是 I。拉尔夫·A. 雷米(Ralph A. Raimi)发表在《科学美国人》杂志上的文章"首位数的奇特分布"(1969 年 12 月，第 221 卷，第 15 页)说的就是这个例子。研究这个实例，按照二阶序的概念给出你的解释。

5. 定律的定律

人类思想已经积累了数不清的成果，我们正试图管理人类的思想库，其中一种形式就是建立分类系统，记录各类别的成果。

参见：Philip，P. Wiener，Dictionary of the History of Ideas. New York：Charles Scribner，1973.

把书中的理论和观点作为你的数据，尝试归纳一些一般系统规律——这也是管理思想库的另一种方法。

6. 三阶序

我们有关于错误的两对一般系统定律，请试着思考这些定律的结构，看看自己能否找到一种概念上的飞跃。

7. 环境药理学

> 病人患病后常常一下子拿到很多种药，有时药和药之间会产生意想不到的作用：一种药会阻碍或加速另一种药的新陈代谢。

有时候，"药"是无意中给到了不是病人的"病人"手中。在我们周围的环境中各种化学物质不断增加，这会带来怎样的后果？在什么范围内能预测出这些后果？在什么范围能让那些向环境散发化学物质的人预测出这些后果？

参见：A. H. Conney 和 J. J. Burns，"Metabolic Interactions Among Environment Chemicals and Drugs." Science，178，575 (November 1972).



第3章 系统与幻觉

真实世界代表世界的本来面目是什么，事物空间则反映观察者的不确定性。如果换一个观察者，看到的事物可能存在很大的区别；两个观察者可能采用截然不同的事物空间来记录真实世界里发生的同一事件。所以，"约束"就体现为观察者与被观察事物之间的一种关系，任何一个具体的约束，其特性既与被观察的事物相关又与观察者本人相关。正因为如此，组织理论的大部分内容都是关于**那些并非内在的，与观察者如何观察事物相关的特性**的。

W. 罗斯·艾什比[1]

服饰上小小的不协调
结果却有些荒唐可笑：
内衣喧宾夺主
从晚礼服的肩上探头探脑，
花边纷纷扰扰
湮没了深红色胸衣的美妙，
袖口不经意地卷起
暴露出衬里的衣料，
人们温文尔雅
姑娘们的衬裙却翻滚得热热闹闹，
还有松散的鞋带
诉说着懒散和自傲。
衣饰上精致的花纹让我眼花缭乱，

更令人迷惑的却是这粗鄙的礼貌。[2]

罗伯特·赫里克(Robert Herrick)

一个系统就是对世界的一种看法

理解一个符号的含义不一定必须了解其传统的应用是什么，这也是我坚决抵抗我的祖母教我识谱的原因。她用一根毛衣针指点着曲谱上的音符，想让我记住每一个音符与钢琴琴键的对应关系。但是为什么要这么做？它们怎么可能是一样的呢？我可一点也看不出一行一行的五线谱与钢琴琴键有什么共同之处。每当人们试图把一些未经证实的强制性规则和假设强加于我的时候，我一概加以反抗；同样，我也反对接受没有绝对事实基础的一切真理。我只屈服于必要性。我觉得人们的各种决定或多或少是反复无常的，他们并不能用足够的力量证明让我屈从于这些规则是正确的。长期以来我一直拒绝接受这种武断的规则。不过，最终我还是屈服了：我最后学会了读五线谱，但我觉得这只是了解了一种游戏规则，而不是获得了知识。另一方面，我的良心却一点也不为接受了算术规则而受到谴责，因为我坚信数字的绝对真实性。[4]

西蒙尼·德·比尔瓦(Simone de Beauvoir)

系统是什么？正如诗人认为的那样，**一个系统就是对世界的一种看法**。

系统是一种观点，这种想法对于诗人这很自然，而对于科学家则很可怕！一旦他知道我们将要走的路，他就会像西蒙尼·德·比尔瓦一样反抗，好像我们要将愚昧强加于人似的。关于系统的这种说法好像是在做游戏，而不是获得知识。知识就是“真理”，就是“真实”。如果两个科学家用不同的“系统”来观察同一个事物，科学就不会比诗歌“好多少”了。一个人身穿宽松的衣衫，在另一个人眼里就可能是“粗鄙的礼貌”。

那么，让我们来看看究竟是什么使我们感到害怕。请看图 3-1，你能看出是什么？一个“人面桃花”的青春少女，还是韶华已逝、满脸风刀霜剑的女巫？看出哪一个都没有关系，但不管看出哪个，试着找到另一个画面；如果什么也看不出来，反而更好理解我的说法。





图3-1　一个系统就是对世界的一种看法

十多年来，我一直用这张图来说明"观点"的力量。年复一年，总是一些人看到了少女，一些人看出了女巫，还有少数人什么也没有看见。在这里要说明的是，重要的不是看到了什么，而是我们如何感受我们看到的东西。每堂课后，总有学生到我的办公室来，有些学生是想让我说，这幅画画的确实是女巫，那些看到少女的人是被愚弄了；有些学生则相反，认为看到女巫的人是被愚弄了。实际上，他们自己都当了傻瓜，因为他们认为别人的观点是愚昧的，或者至少比他们自己的观点更偏离真实性。

另外一些学生则比较谦虚，他们只是想弄清楚这张图画的究竟是什么。他们意识到自我中心论的错误，就在一个更高的层面上思考。但这些学生其实却更多了一些愚昧，原因在于他们没有意识到，真理可以独立于观察者而存在的观点才是最大的自我中心论。如果真的存在这样的真理，那么到底谁才能发现它呢？

自我中心论是有机论的一种表现形式，而有机论又是活机论的一种表现形式。经过数百年的艰苦努力，科学家们已经成功地摆脱了如下的想法：

如果我是在宇宙中漫游的一颗行星，我是怎样被太阳的巨大质量吸引住的？

如果他们忍不住要做这种设想，也只能是独自冥想而已。生物学家也有类似的问题，并且因为感觉与研究主题相关而备加痛苦：

如果我是一只牡蛎，我会不会被一粒沙子激怒？

还有更加相关的问题：

如果我是一只青蛙，会不会被影子吓着？

再进一步：

如果我是一条狗，会不会喜欢汉堡？

当然，心理学家的问题就更大了。但是，我们共同面对而又都想摆脱的终极难题是：

如果我是大自然，我会说谎吗？

或者

如果我是大自然，我会掷骰子吗？

我们怎么知道大自然（也就是"真实"）作何感想？或者，了解大自然作何感想会比移情于一颗行星、一只牡蛎、一只青蛙、一条狗有更大的意义吗？

与此相似的每一个有机论观点都阻碍了科学的进步，不过只要这些观点没有实际应用，其影响就容易消除。对位置的本能反应能使我们洞察到力与运动的关系，牛顿做到了，我们的物理学也是这么教的。从激动、恐惧、喜欢等主观经验中我们还可以洞察生物学定律。坚信外部世界的真实存在，我们就能够在科学上不断取得进展。

谈到这一点，"现实主义者"常常会引用爱因斯坦的话：

外部世界独立于人们的感知对象而存在，这一信念构成了所有科学的基础。[4]

也许可以用上面这段话来代替图 3-1，因为，每个人都是按照自己先入为主的观念来理解它的。请注意爱因斯坦并没有说：



> 外部世界独立于人们的感知对象而存在，这一事实构成了所有科学的基础。

爱因斯坦是十分细心的人，一个十分谨慎的科学家。他没有说外部世界是本质的，而是说对外部世界的“信念”才是本质的。他是正确的。也正是爱因斯坦提出了相对论，给科学世界带来了巨大震动，正是因为它建立在我们只能通过我们的感观来了解外部世界这一前提之上。

“外部世界独立于人们的感知对象而存在”是产生科学发现的一种启发式思维方法。如同其他启发式工具一样，它无法确切地告诉我们在何时何地能得以应用。小时候，孩子们在学习英语单词的拼写规则时，记住了“（当i、e连续出现时）i总是排在e之前，除非在字母c之后”这一规则[①]，但是遇到“Either... Neither...”（或者……或者……）时就会出现麻烦。也许，一个小男孩说得更加明确：“今天我们学了香蕉（BANANA）的写法，但是老师没有教我们何时停下来不拼NANA。”

前面提到过类似的观点。力学家无法说出哪些系统是符合力学规律的，数学家无法知晓数学的应用范围到何处为止。为了表示对小男孩的敬意，我们将他的说法提升为一条“**香蕉原理**”：

启发式思维方法无法确定其适用的边界。

我们有一连串逐渐强化的启发式方法，引导我们在思维的道路上走得越来越远，由低到高依次有“想法”、“概念”、“规则”、“原理”、“定律”、“事实”、“真理”。越是向后走，我们越容易忘记这种启发式方法归根结底还只是一种方法，我们忘掉了“香蕉原理”并且一直不停地走下去；我们得到的成功越多，就越确信自己的做法是正确的。

可是我们越是这么确信，就越容易陷入幻觉之中，因为幻觉：

> ……我们深信所能看见的展现在双眼面前的视觉景象只能有一种明确的描述……关于幻觉，最经典的故事与尽善尽美有关，普林尼（Pliny）给我们讲述了帕哈休斯（Parrhasios）如何胜过古希腊著名画家宙克西斯（Zeuxis）的趣事。宙克西斯以画葡萄而著名，他的葡萄画得栩

① 这里指的是英语的一类拼写规则，例如 believe、field、receive 等。——译者注

> 栩如生，以至于常常引来小鸟叮啄。有一天，帕哈休斯邀请劲敌宙克西斯到自己的画室来看画，宙克西斯使劲地去拉画板前的盖布，却怎么也拉不开，这才发现那只是一幅画上去的布……[5]

我们的目的是提高思维能力，我们拥有的一个重要的思维工具是“坚信外部世界独立于人们的理解对象而存在这一信念”。我们一点也不想抛弃如此有用的工具，也不想扔掉类推的思维方式，即使我们有意抛弃也无法做到。下面我们会用熟悉的语言来谈论独立的客观存在——不过在此之前我们先来看一看互补的思维工具：相关性思维。

世界上可能真的存在一些“真实的物体”，然而即便如此，它们也不是因为我们相信它们的真实而存在的。感知不仅反映真实也反映幻觉，何况有些感知——即使是对幻觉的感知——有时是如此强烈以至于我们对其无法忘怀。[6]同样，世界上也可能存在“自然的真实定律”，但即使如此，我们对其存在性的强烈信念，**可能恰恰阻碍着我们发现这些真实定律**。所以，我们来看一下，如果对“独立存在的真实”持怀疑态度反而会得到怎样的结果。不过，千万别忘记，这当然也只不过是一种启发式思维的方法而已。

绝对思维与相对思维

> 这是一个关于伟大的美国语言学家、人类学家爱德华·萨皮尔(Edward Sapir)的故事。他自述曾与一个印第安人一起工作，试图弄懂那种他自己难以掌握的美洲印第安语的语法。最终，他觉得自己已经掌握了其中的基本原理。为了验证自己的假设，他开始试着按照自认为正确的规则造句。“可以这样说吗？”他问印第安合作者，然后再用印第安语重复一遍。这种模式做了几次，每次的内容各不相同。每一次，印第安人都会点头说：“是，可以那样说。”很显然，这说明萨皮尔已经入门了。突然，一个可怕的猜疑浮现在萨皮尔脑海中。他又一次问：“你会这样说吗？”他又一次得到了确定地答复。接着，他问道：“那是什么意思呢？”“什么意思都没有！”印第安合作者回答道。[7]

人们用语言或文字很可能描述出没有任何意义、但却是可以接受的事物。假如首先认真了解了什么是毫无意义的陈述，人们就会懂得怎样说才



能更有意义，因为例外虽然不能证实一条规律，却可以教会我们理解这一规律。

如果要对毫无意义的陈述进行讨论，"例外可以检验规律"这一说法本身就是一个很好的起点。不过，"Proof"（证据、检验、证明）一词的英文原意是：

> 对事物进行的一种测试，用以表明该事物是否具有令人满意的品质。

我们对印刷品、照片做"校验"，对威士忌、布丁进行"品质检验"时，保留了"Proof"的原意。不过，几百年来，这一词汇的内涵发生了变化，去掉了证伪的可能，变成如下另外的意义：

> 建立、证实或演示事物的真理或者真实性。

虽然这个关键词汇的含义发生了变化，但上述说法却保留了下来①。结果是，那些乐意鹦鹉学舌地重复"例外可以检验规律"的无知者与我们的争论就无可避免，尤其是每当遇到一些与他们先入为主的结论有所不同的时候更是如此。

任何语言陈述要有意义，其词汇的含义必须是被接受的。"被接受的含义"意味着**有人**——观察者——接受它的含义。如果我对着大教室里的同学们说："例外可以检验规律"，在座的同学对此可以有不同的理解，正如对图3.1大家看到的结果不同一样。有人认为我在说废话，而其他一些人则认为：

> 例外对规律进行了检验。

表面上看，某些陈述语句具有**绝**对意义，因为它拥有**几乎所有人**都认可的含义。请看以下段落：

> 通用汽车公司之所以存在是因为它生产出来的是汽车而非废铜烂铁，尽管两者都是它的产出物。大学之所以存在是因为它培养了智者、学者而非退休教授或学术谬误。[8]

---

① 这个说法的含义也发生了变化，有"例外证实规律"的意味，也就有了偷换概念的嫌疑。——译者注



米勒先生的这种说法似乎无可争议。但是，假如他改成这样写：

> 海狸之所以存在是因为它能抵御洪水而非产生碎木堆，海洋之所以存在是因为它能出产新鲜海鱼而非在海滩上堆积泥浆和死鱼。

我们又作何感想呢？

对于"人造"系统，我们可以谈论其"目的"；而对于"自然"系统，则绝对不能如此。人们对"人造系统"的不满大多数是不同意这些系统的设计"目的"；也就是该系统"究竟"是什么东西。自然，这个问题的答案是，系统本没有什么"目的"，因为"**目的**"是一种**关系**，而非事物所"具有"的属性。对于垃圾商来说，通用汽车**就是**为制造废铜烂铁而存在的，而公司的广大股东所关心的也不是通用汽车是生产汽车还是生产青豆，他们只希望通用汽车公司赢利。

再来看看大学。我们常常谈论大学改革，但是真正看到的改革却少之又少，为什么？至少有一个原因，是人们还没有意识到大学对不同的人来说是不同的事物。可以肯定的是，美国大学的一个**最重要的**社会功能就是产生学术谬误，让那些人辞职回家，降低其在社会阶层中的位置和作用。就我从内部所能证明的范围而言，在一些教授眼中，研究机构存在的**真正理由**就是向我们提供体面的退休生活，包括体面的工作！

所以，米勒先生想要说的并不是这些机构存在的**那个**理由，而是或多或少反映了官方的**公开**的理由，就好像大众对某个词汇的认同一样。米勒完全了解其中缘由，所以没有必要把它直截了当地写出来，就像：

> 大多数人在大多数时候的看法是，通用汽车是一家生产汽车的公司，尽管有一些人在有一些时候对通用汽车公司的存在目的持有不同的看法。

采用绝对陈述非常有力，就像通用汽车公司的存在有一个实实在在的正确"目的"。绝对陈述在很多时候不会给我们带来麻烦，虽然如果愿意深究，某些看起来绝对的陈述可能会使我们有意外的收获。

绝对思维的一个简单例子可从下面问题的答案中看出。

> 假如把一只玻璃温度计突然插入热水中，温度计的读数会怎样？

谁都知道读数将上升，但如果你真的做这样的试验，并且仔细观察，会

发现温度读数先**下降**然后再上升。几乎没有人观察到这个下降过程，不是因为这个现象不容易被观察到，而是人们想当然地认为温度会上升，所以就没有什么人真正地进行仔细地观察。

可能人们是听别人说过温度计的读数将上升，那么他们也相对容易接受读数会下降这种相反的说法。而对于那些懂得温度计背后的"原理"的人来说，很难说服他们接受这一观察事实。他们知道的"更多更好"——也就是说他们的幻觉更强。他们会争论说温度计的读数会上升，因为

> ……温度计的读数测量的是水银的膨胀程度，而水银受热会膨胀。

这个简单例子至少隐藏着两种绝对论断。其中一个，与观察的**时间尺度**有关。上面有关水银膨胀的陈述似乎是瞬间发生的，实际上精确的陈述应该是：

> ……温度上升时水银会膨胀，但这一过程要花费一定的时间。

我们当然知道，加热水银需要时间，否则测量体温时就不需要等几分钟后再看结果了。

时间尺度说明了温度上升过程中会出现图3-2曲线的原因。然而，为什么一开始读数先下降呢？答案在第二个绝对论断中，有关"水银的膨胀"。温度计读出的不是水银的膨胀，而是水银的膨胀程度与玻璃的膨胀程度两者之间的**差值**，也就是说，温度计测出的是水银的**相对**膨胀程度，而不是**绝对**膨胀程度。

当温度计插入热水中时，外面的玻璃先受热，先膨胀；因为这时水银还未受热，所以玻璃管中的水银就会**下降**（体温计中水银不会下降，是因为为了保留最高体温的度数而有意设计成这样的，因此任何时候都不要把体温计插入热水中），结果如图3-3所示，温度计的读数上升前先有轻微的下降。

同语言一样，温度计是我们认识世界的一种工具。把它用于简单事物时，可以用简单的语言来描述它的作用。我们不关心温度计"实际"怎样工作，如果它能像简单的语言描述那样工作，我们就心满意足了。我们瞄一眼室外的温度计，就可以说出"外面温度是17℃"。这时，即使温度计的读数刚刚改变，我们也不会考虑其中的时间尺度效应。

但是，测量体温就不同了。我们很关心时间尺度问题，因为这两种仪器

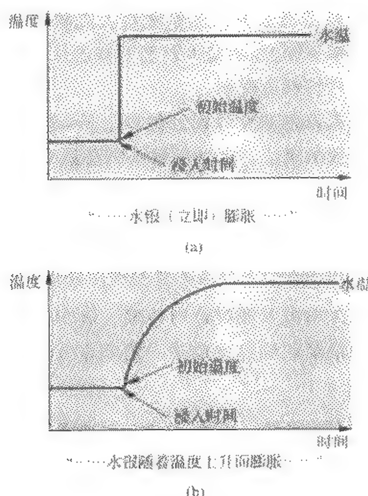


图 3-2　水银温度计温度上升的两个模型

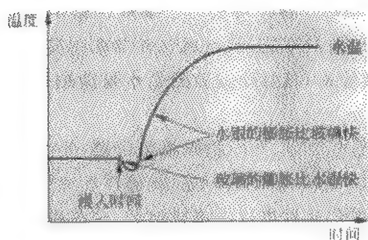


图 3-3　"……水银和玻璃的膨胀程度不同……"

原理不同。如果在一个自动控制系统中使用了温度计，我们就需要像图 3-3 一样非常仔细地关心温度变化的过渡过程了。

再举一个例子。一些系统论学者经常提到系统的"突现"性质，这些性质只在系统中存在而不在系统的各部件中存在。另外一些学者不同意这种说法，他们认为所谓的"突现"性质不过是系统活力素的另一个名词。而且，

他们可以举出具体的实例说明那些“突现”性质完全可以预测。究竟谁对谁错？

双方都是对的，但因为大家都使用了绝对的论述，所以才有麻烦，好像“突现性质”是系统拥有的某种东西，而不是系统与其观察者之间的一种关系。对一个不能或没有做出正确预测的观察者而言，某些性质“突现”出来了。同一个现象，对有些人而言是**预测**到的现象，而对另一些人却是看到的**突现**现象，这种情形在我们的生活中屡见不鲜。

“突现性”与通过实例说明**应该能**预测出来的性质是毫不相干的两件事情。如果我们认识到所谓“突现性”是就观察者与他所观察的系统而言的一**种关系**，那么越来越多的复杂系统堆砌在一起，毫无疑问的，就会有一些性质会“突现”出来。换句话说，“突现性”对我们来说并不是什么“突现”，但对于那些持有绝对论调的人来说就是。事后他们会发现其实**不必**对此大惊小怪：如果突现性质事前是一个炸弹，**事后**看来那不过是一个小小的安慰。

那么怎样避免犯绝对化的错误呢？我认为，关键在于一定要记住模型、语言、仪器、技术的人本起源。在某些时候、在某种观测尺度下、为着某种目的，绝对化带来的简化能够很好地帮助我们处理事务。当我们按照一定的方式思考问题时，我们的表达方式常常遵循传统的模式，这些模式在大多数情况下都能很好地适应传统的情形。

下面的故事十分传神地描述了什么是传统的情形。

> 一位大臣走过建筑工地，看见两个工人在砌砖。“你在干什么？”他问第一个工人。
>
> “我在砌砖。”工人粗鲁回答。
>
> “你呢？”他又问第二个工人。
>
> “我在建大教堂。”工人高兴地回答。
>
> 第二个工人的理想主义以及对上帝宏伟计划的参与感给大臣留下了愉快的印象。回去后，他就此做了一篇文章，第二天又来到这个建筑工地，想找那位给予他创作灵感的砌砖工人，结果只看到第一个工人在砌砖。
>
> “你的同伴到哪里去了？”大臣问道。
>
> “他被解雇了。”

“真糟糕！你知道为什么吗？”

“他以为我们在建大教堂，其实我们不过是在盖一个车库罢了。”

在琐碎繁杂的日常工作中，我们似乎应该实际一些，专注于工作而不要异想天开。如果我们要盖车库，就必须按照要求像往常一样砌砖。但是，如果我们要建一座大教堂，就必须忘掉往常的规矩。

谁决定的要盖车库？要生产汽车？要培养智者？谁决定的某种思维方式比其他方式更好？他们的决定在新的情形下还适用吗？世界的发展之路交到了我们手中，但它并不是早就刻在石头上准备好了的：

> 系统是彻头彻尾的人造物……我们把一个既定的关系引入系统之内，或者将它忽略在系统之外，选择的结果有可能好也可能更糟。但是，引入并不创造真理，而忽略也不会造成谬误。从这个意义上说，采用怎样的程序来决定系统的引入或者忽略，应该根据实用的原则来评判，它取决于引入或忽略的东西与系统设计目的之间的相对关系。[9]

在上面的例子中，因为我们更关心的是大教堂而不是车库，所以我们所取的观点是与此相对应的，任何系统表达的都是一个或若干个观察者的观点。我们和他们的观点哪个“好”一点，哪个“坏”一点，只能根据系统的设计目的来判断。

系统是一个集合

> 更多的情形是，真实物理世界中物体的分类并没有精确的准则。[10]
>
> **L. A. 扎德(L. A. Zadeh)**

虽然，观察世界的任何一种方式——“内衣……从晚礼服的肩头探头探脑”，“花边纷纷扰扰”，“袖口不经意地卷起”，凡此种种——都可以看成一个系统，但是真正的任意系统是无任何特征可言的。事实上，我们可以有如下定义：

> 任意系统：除了“无一般性”之外没有任何其他一般性的系统。

因此，如果想展开对系统论方法的讨论，就必须将注意力适当缩小到非任意系统。在此之前，首先必须谈谈系统之所以是非任意性系统的原因，这



些原因其实就是使系统化思维成为可能的**序之源**——其中最普遍的序正是系统化思维的源泉。

非任意性出自两方面，它既可以是“实际物理系统”所“呈现”的，也可以是出自观察者的。现在，我们先来关注观察者方面。我们可以立即想到“内衣……从晚礼服的肩头探头探脑”、“花边纷纷扰扰”、“袖口不经意地卷起”这些观察自身并不组成任意系统，因为至少在赫里克这个观察者看来它们是协调的，是应该在一起的。实际上，找到一个任意系统十分困难，因为一旦我们想到一种看起来具有任意性的系统，马上就会发现它具有某种程度的非任意性。

以上说法听起来非常不切实际，但弗洛伊德恰恰是基于这种认识开始他的精神分析学研究的。实际上，**没有人**能以实例说明他可以做到任意地选择事物，所以，如果无法排除**有意识**地进行**任意**选择对结构所产生的影响，就会发现在选出的系统中隐藏了观察者方面的多余结构。

然而，观察者对系统的影响却往往被排除在关于系统的描述之外，排除的最常用方法就是直接采用**数学描述方**法来表达系统——即所谓的“数学系统”——而对究竟怎样选择了这种特定的描述方式却只字不提。举例来说，霍尔和费根[11]给出了如下定义：

> 系统就是物体之间或者它们的属性之间具有关联的那些物体的集合。

这些物体从何而来？霍尔和费根没有给出任何线索。如果不是**我们**自己碰巧知道它们来自某些观察者的头脑，那么这些物体就只能是从天而降了。

霍尔和费根正确地强调了“关联性”是系统的重要概念，但对于系统本身与观察者的观点相关这一点却没能给出丝毫的提示。集合是数学中十分普通的概念，在人们的印象里集合是能够给出准确分类的，与这种印象恰恰相反的是，在大多数理论中，集合却是**不定义的本原元素**之一。数学中有关集合的理论（集合论[12]）阐述了集合的许多性质，但是未能告诉人们观察者是如何选择集合的。

如果系统是事物的集合，那么集合中的表达**符号**对我们将大有裨益。例如，赫里克的系统就可以用数学方法描述如下：



设 X 表示从晚礼服的肩头探头探脑的内衣的集合，

设 Y 表示纷纷扰扰的花边的集合，

设 Z 表示不经意卷起的袖口的集合。

那么，我们讨论的集合可以表示为：

{X,Y,Z}

这个集合没有诗意，但我们会不时发现它的独特优势。

在最初选择集合时人们所遵循的概念都是非常简单的，即采用穷举法——我们把它们记录下来，记录方法也许就是通过记录一个个的组成元素，比如所有的棋子和牙齿。不过，通常是确定一个名称的集合，用名称代表某些"东西"的集合。名称的选择并不是惟一的，就像赫里克集合的例子那样。一般而言，用名称描述事物比较容易一些，比如以下集合：

{自由女神像，埃菲尔铁塔，列宁墓，万里长城}

但是，对那些无论如何努力都无法明确表达出来的集合的成员，有时候我们更希望用名称来表示它们。请看下面的集合：

{致苏格拉底于死地的毒药，费马最后一条定律的证明，铀的质量}

其中，第一个元素已经不存在了，第二个元素还未出现，第三个元素不可能在一个地方持续存在足够长的时间不变化供我们测量。

在集合中指定的那些不存在的元素的名字将自然而然地导致潜在的错误，然而，如果我们不知道一种东西并不存在，并把它定义在集合中，这就更加有害了。人类学家可能定义根本不存在的"血缘关系术语定义规则"，考古学家曾经津津乐道地谈论伪造的"皮尔当人头盖骨"。科学知识能够有效地揭露由错误或伪造的数据引起的伪科学结论，但另一方面，人们进行直觉想像所依赖的数据尚未得到这样的安全保护。那些给人们留下深刻印象的关于系统的明确结论，即使我们可以把系统集合中的每一个元素都一一指出，却也还有可能是建立在犹疑不定的想像基础之上的。

我们很少会列举出构成我们思维基础的所有集合。穷举法是构成其他操作的概念基础，虽然其自身也存在危害，但与推导性方法可能引起的混乱相比，就显得微不足道了。在这些推导方法中，最糟糕的恐怕要算用典型元素来表示一个集合了。这种表示法的假设基础是集合具有的典型特征，这种结社早在柏拉图时代就已经出现了。柏拉图的信徒们声称，用理想的典型元素来表示集合是一种比穷举法更理想的方法，因为实际集合中的元素

充其量是理想典型元素的一种不完善的体现。然而，理想的典型元素是在观察者的头脑中严格地构建出来的，这或许是整理大量数据的一种方法，但正如分类学家发现的那样，沿着这条捷径走下去，就可能会产生**分解的谬误**。

即使集合中存在典型元素，把它们找出来也可能是非常麻烦的，因为不同的人对自己寻找的典型特征的集合是什么看法并不相同。如果我写：

{勃朗宁，布莱克，拜伦……}

省略号的确切含义是什么呢？我是想指出的是所有姓名以 B 开头的英国诗人吗？还是所有的英国诗人？所有伟人的英国诗人？所有**伟大**的英国人？所有伟大的诗人？对我的想法你可以有 1000 种以上的猜测。事实上，文学作品中常常有意采用一些含糊的描述，但作为科学工作的基础，这种含混不清的做法十分有害。即使是在作者的头脑中已经有清晰明确的看法，只不过为了简洁而采用某些典型元素做代表，其危害仍然是十分明显的。如果他自己的想法也含混不清，那就更加糟糕了。

{勃朗宁，布莱克，拜伦……}后面的省略号表示"如此等等"的过程，一个**遵守某种规则**的过程，这种规则可以从上面三个实例中毫不费力地推论出来。规则——无论是隐含的还是明确表达的——构成了穷举法和典型元素法之外的定义集合的第三种常用方法。

当集合中的元素个数很多时，规则表示法则比穷举法有效得多。如果规则可以明确地表达并且能够加以运用，规则表示法就优于典型元素法。但是，在大多数情况下，明确的规则只能在数学运算时得以应用，例如从一个集合中选出偶数。在现实世界中，构造相应的规则是非常困难的。

计算机向人们暴露了规则表示法的缺陷。当人们试图将分类过程表示为可编程的机械过程时，就会发现这一过程比看到的要麻烦得多。细胞学家早就能够通过染色体"异常"挑选出承载相应细胞的玻璃片；律师常常能为接手的案子找到"相关的"先例；语法学家在把句子按"结构"进行分类时从未遇到过困难。但是，当他们试图将这些分类过程机械化——用计算机明确表示的规则来实现——的时候，细胞学家、律师和语法学家才真正发现他们从未准确地知道他们以前做的到底是怎样的分类工作。

每位读者都很熟悉按照语法结构对句子进行分类的方法。在这个方面，一个经典的计算机例子如下：



TIME FLIES LIKE AN ARROW (时光飞逝如箭)。

大概每一位读者都能指出这个句子的结构："TIME"(时间)是主语，"FLIES"(飞逝)是谓语，"LIKE AN ARROW"(如箭)是补语，看上去像是一个纯粹的**语法**分析，只用到了主谓宾定状补等句子成分，而不是每个词语的**意义**，即无需进行**语义**分析。

使用计算机来分析这句话就不那么容易了。"TIME"可能是名词，作"时间"解，也可以作为形容词，如在"计时的钟表"(TIME CLOCK)中的用法。"FLIES"可以是动词，也可以是名词，表示"蝇"，如用在"果蝇"(FRUIT FLIES)中。"LIKE"(如)可以是介词，也可以是动词，表示"喜欢"，如"我喜欢你"。有这么多种可能性，我们怎么知道：

TIME FLIES LIKE AN ARROW(时间苍蝇喜欢飞箭)。

它与下面的句子结构有什么不同呢?

FRUIT FLIES LIKE A BANANA (果蝇喜欢香蕉)。

答案是"不知道"。有时，我们可以从可能进行的语义解释中得出结论。如果上面的句子变成：

FRUIT FLIES LIKE AN ARROW (果蝇喜欢飞箭)。

我们就比较容易发现语义上的混乱，实际上这正是计算机进行**语法**分析的结果。

起初，我们认为这种分类方式只涉及了语法问题，但实际情况要更复杂一些。我们不知道自己的大脑是如何在不同的解释中进行选择的，甚至有时候我们发现了某些含混的解释，却不知道还有更多种可能的歧义深藏其间。用计算机对上面的实例进行的语法分析表明，还存在另外一种完全合乎语法规范的解释。

TIME FLIES LIKE AN ARROW(像飞箭一样计时)。

其中，TIME 为动词，表示"计时"，句子变成命令式，与下面的句子结构相仿

TIME RACES LIKE A TIMEKEEPER (像计时员一样计时)。

如果不是计算机提醒我们有这么多种歧义存在，我们还不知道自己所依赖的语法是多么模糊。

规则表示法在选择集合时还存在另外一些难处。当我们说明某种选择规则的时候，我们已经隐含地定义了一个"选择集合"：即符合这种选择规则

的物体所组成的集合。这样，"偶数的集合"就**不是**"所有可被 2 整除的数的集合"，而是"所有可被 2 整除的**整数**的集合"。同样地，使用规则选择那些具有"异常染色体"的细胞，首先已经假设观察者能够分辨出所有细胞的染色体哪些是正常的，哪些是异常的。可是，如何选择这些作为先决条件的集合与按照既定规则对其进行分类差不多一样困难。整数很好辨认，而细胞却不行。如果不明显地表示出来，就连整数也可能难以辨认。考虑如下方程：

$$x = 2b$$

显然，它表示 x 一定能被 2 整除。但是，如果想知道 x 究竟是不是整数，我们还需要知道 b 是什么数。

再重复一遍，计算机对上面的句子进行语法分析的过程揭示了隐藏的假设——在本例中，就是隐含了选择集合的困难。要想选择**文法通顺**的句子，首先必须懂得怎样认识句子。要让计算机明白无误地了解这些选择，我们可能要这样说：

在英文中，一个句子是由大写字母开始、句点结束的一段文字。

把这个规则应用到文章中去：

The length of the rod is 3.572 meters.（杆长为 3.572 米。）

而计算机就会分析出这样的句子：

The length of the rod is 3.（杆长为 3。）

显然这样分析有问题。

解决上述问题的一种方法是"向后看"，即再看看下面的文章：

572 meters.（572 米。）

因为这不符合规则中句子由大写字母开始的定义，所以我们就可以拒绝前面的句法分析结果。这种"向后看"的方法能在一定程度上解决问题，但是有时也会使得问题变得复杂，以至于我们无法对下面的句子进行句法分析：

007 spies.（007 从事间谍活动。）

随着上述分析的进行，我们将一个又一个特殊例子堆积起来：语义规则堆在语法规则上，语法规则又堆在拼写规则上，我们开始懂得了可怜的小毛莨花早就明白的道理——事情并不是看上去的那个样子。我们认为最简单

的精神活动其实并不简单，虽不完全合理，也不完全是任意而为。虽然我们能够进行这些精神活动，却看不清楚这些过程到底是怎样进行的。一旦我们成功地知道自己的大脑中正在进行什么样的活动，关于一般系统思维外在的那一半就变得容易得多了。

观察者与观察结果

> 我已经把B612小行星的一切细节都告诉了你们，由于你们还会向成年人说起它，我还把它的编号也告诉你们了。成年人喜欢数字。当你们向成年人谈及新朋友时，他们从不会提出实质性的问题。他们从不会对你问这一类的问题："他的声音怎样？他最喜欢什么体育运动？他收集蝴蝶标本吗？"他们会问你："他多大年龄？有几个兄弟？体重多少？父亲挣多少钱？"只有这样，他们才会感觉到认识了这个新朋友。[13]
>
> **安托尼·德·圣·伊克休伯雷(Antoine de Saint Exupery)**

到现在为止，我们故意不说清楚组成系统的集合到底是**什么东西**的集合。作为工程师的霍尔和费根毫不犹豫地说是**物体**的集合，其他的作者则给出了五花八门的答案，如"部件"、"元素"、"属性"、"成分"、"变量"等，不一而足。各种各样的说法说明了**没有人**知道系统到底是**什么**的集合。

对此我们不必惊讶。名词的繁杂表明组成系统的成员是系统化思维中**不定义的本原元素**之一。虽然系统化思想家一直在谈论这些成员，但他们从不指明它们到底是什么，这远远比不上物理学家关于"质量"的说法。实际上，如果我们能够明确地指出系统到底是由什么成员组成的，我们谈论的就不再是有关系统的一般性的问题，而是特定系统的问题。

下面三个棒球裁判的故事很好地说明了这个道理。三个裁判被逐一询问怎么判断好球和坏球。

> 第一位裁判说："如果球打在击球者的膝盖到肩膀之间，就是好球；否则就是坏球。"
>
> 第二位裁判说："如果是坏球，我就判为坏球；如果是好球，我就判为好球。"
>
> "不！，"第三位裁判说："在我做出裁判之前，它们什么球也不是。"

在决定本原元素的本质时，我们就是棒球裁判，球场上独一无二的仲裁



者。只要集合中的成员"什么也不是",我们的理论结果就是严格地与内容无关——也就是说,是一种纯数学的描述。伯特兰·罗素曾经说过,数学因为不告诉人们它说的是什么而具有了真理的表象。

数学陈述没有对错之分,但是,按照数学家们的说法,有"合理"与"不合理"之分。"合理",意味着**内在的一致性**。如果我们在数学陈述和"真实"事物之间建立了相应的关系,就可以说这种数学陈述在这样的关联下是"真"的。数学家常常假定,无论建立怎样的关联,不合理的陈述**永远不会**成立——但这是一种哲学论断,因为显然它不具有数学陈述的特点。

数学方法的不足之一就是不能区分哪些是"贫瘠无效的"陈述,哪些是"富有成果的"陈述。一般系统学的发展一直零星地受到一种叫做"**过数学化**"的变质毛病的折磨:那是一种声称能产生覆盖一切问题的恢宏合理的数学理论的毛病——他们经常把这种理论也称为"一般系统理论"——而究其实质却好比一头没有生育能力的骡子。之所以说这些理论贫瘠无效,首先因为它们声称能解决任何问题,其实就等于不能解决任何一个问题;其次,从数学上看,这些理论难以从富有成果的理论中分辨出来。它们不只浪费了我们的精力,也给富有成果的理论抹了黑。

如何避免陷于"**过数学化**"呢? 首先,应当听从麦克维尔(Maxwell)的警告:

> 数学家们可以吹嘘自己拥有人类语言无法表述的新颖观点。请他们努力用恰当的语言而不是数学符号来表达这些观点,假如他们做到了,那么他们就不仅会使我们这些外行对他们心服口服,而且,我们斗胆断言,他们自己也会在此过程中重获启示,甚至怀疑用符号表达的数学观点是否已经从方程中走出来,成为头脑中的思想。

言词表达牺牲了符号描述的雅致,却保留了思维的核心。

其次,我们应当遵循"喜悦特性定律",除非存在多次使用的需要,我们应当尽量避免使用数学符号。在多次使用的情况下,重复同样的数学符号,既可以一步步加深对数学含义的理解,也减少了滥用数学符号的弊病。比方说,之所以介绍集合的符号,不仅是因为:

> 一门科学是否精妙通常取决于它利用数学表达的程度。[14]

集合符号这种工具并没有提高理论的精妙程度,而是便于我们讨论**可能性的界限范围**。

采用集合所得到的第一个喜悦特性就是帮助我们彻底理解什么是观察者。观察者记录观察结果，它既可能是生理器官的某种感觉，也可能是测量仪器的读数，又可能是上述两者的结合。一次**观察结果**可以表述为**从一个集合中选择一个元素**，这个集合就是观察者进行观察的现象所具有的各种可能性。

换句话说，观察者可以由他所能做出的观察结果来定义。集合的符号能帮助我们认识到可以通过两个方面来理解观察者——一个方面是他**能观察的类型**（**广度**），另一个方面是在每种类型中他能从中**选择结果的范围**（**深度**）。例如，赫里克可以进行两种类型的观察：服饰的类型、不协调的类型。作为观察者，他的"视野广度"就可以表示为下面的集合：

{服饰，不协调}

作为观察者，他的"视野深度"可以从他观察的"视野广度"中每一个部件的范围、或是"分辨程度"、"粒度"等推断出来。这样，在**服饰**上，赫里克可以分辨出以下集合中的每个元素：

{长袍，花边，袖口，吊袜带，衬裙，鞋带}

在**不协调**一项上，他至少知道：

{惹人心烦的，搭配错的，疏忽的，乱糟糟的，骚动的，粗心的，野味十足的，放荡的}

换句话说，作为观察者身份的赫里克可以用下面的集合来建立模型：

{服饰，不协调}

事实上，这是一个关于**集合的集合**，"服饰"可以有 6 种元素，"不协调"有 8 种。

读者们马上可以看出，上面这种对观察者的分类方法或许太狭隘，或许太宽泛。在广度上，我们可能将一些本应在内的部分划出了集合的范围之外，在深度上也可能表示得不够细致，以至于整体上集合定义过窄。或许我们还没有意识到整个集合的广度和深度究竟是什么，或者我们对某些观察结果并无兴趣。例如，在心理学实验中，心理学家没有注意到一些细小的线索，而被测试的对象却注意到了。

来看看训练信鸽的例子，要求鸽子养成对贴在玻璃上的卡片上画的红色圆圈做出反应的习惯。训练者每出示一张卡片，测试仪同时发出"滴答"的响声，而伴随每张卡片的响声都不同。训练者认为鸽子的反应范围应

当是：

{颜色，形状}

而事实上，对鸽子起作用的反应范围是：

{颜色，形状，滴答声}

鸽子还对测试仪的滴答声做出反应，而不仅仅是对卡片的颜色和形状。正在成为一般系统学者的读者能够注意到心理学家对鸽子的看法与米勒先生对通用汽车公司的看法之间的相似性。

观察者做出的一次完整的观察记录包括为观察范围内的每一个广度选择一个具体的观察值。这样，赫里克做出的{花边，疏忽的}是一次完整的观察，{袖口，搭配错的}也是一次完整的观察。我们的模型中的赫里克一共可能观察到多少种不同的结果呢？因为"服饰"集合中包含6个元素，"不协调"集合中有8个元素，所以总的结果是他们的乘积——48种。即集合

{服饰，不协调}

共包含{花边，搭配错的}，{花边，疏忽的}，{袖口，搭配错的}，{袖口，疏忽的}……元素。

所有可能的组合构成一个集合，也就是集合的集合，被称为"集合的乘积"，也叫做"笛卡儿乘积"，笛卡儿是发现发现这一乘积的人。用符号表示就是：

{服饰×不协调}

可以读做"集合服饰与集合不协调的笛卡儿乘积"，或"服饰与不协调的笛卡儿乘积"，或"服饰与不协调的乘积"。图3-4列出了这个乘积的部分情况，请读者补充图中的剩余部分。可以看出，这虽然是一个关于集合的集合，但它同样也是利用集合符号来定义可能性的界限范围的一种方法。

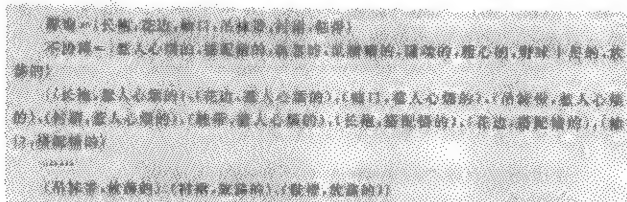


图3-4　{服饰×不协调}的笛卡儿乘积

乘积的集合有时可能过于广泛，尽管观察者或许可以区分出单个集合中的每个元素，却难以将组合起来的乘积集合的每一个元素加以区分。从诗中我们看出赫里克能识别出{花边，错误的}，恐怕他无力说明什么是错误的鞋带，什么是错误的衬裙。如果赫里克不能识别，他就必须把元素{鞋带，错误的}和{衬裙，错误的}从他能做出的观察结果中剔除出去。

在这种情景下，{服饰×不协调}的笛卡儿乘积对赫里克而言过于广泛了。如果我们不加选择地使用它，就会发生**组合错误**。采用上述模型，我们就能得出这样一个荒谬的结论：赫里克能观察到他无力观察的现象——这说明我们的模型过于一般化了。然而，如果我们能恰当地定义他观察的广度和深度，至少可以做到在观察集合中**不排除**他所能观察到的任意结果。所以，集合的笛卡儿乘积能在假定的观察广度和深度范围内，帮助我们**避免缺乏一般化**的错误，至此，我们可以注意到一般系统学说**过数学化**的一个症状就是对看到的每一件事都运用笛卡儿乘积。笛卡儿乘积把"所有可能区分的东西"变成了"所有可能区分的**东西的组合**"，这对于一般系统论者极具诱惑力。如果我们不论何种情形、愿意与否都采用笛卡儿乘积，很快就会产生规模巨大的集合——被称为"组合爆炸"，因为笛卡儿乘积是各种可能性的组合。不考虑计算上的平方律而提出的一般系统理论，可能是完美无瑕包容万象的，却是空洞无用的定律，因为任何一种能够想像得到的系统都没有这样大的计算能力。

在我们的"观察者"模型中，要时时不忘提醒自己注意该模型到底需要多大的计算能力。但是请注意，我们并没有强迫这里的"观察者"能"正确地"做出每一次观察（指出服饰和不协调的每一种元素），因为这些是我们原始的、不定义的本原元素，用"正确"来形容是毫无意义的。观察者所要做的事情就是能做出两种感觉或者测量结果是一样的判断——他自己就是最终仲裁者。或者说："在我做出裁判之前，它们什么也不是。"

无关法则

"如果把狗的尾巴叫做腿，那么一条狗有几条腿？"
"五条？"



"不,四条。把尾巴叫做腿,并不等于它就变成了腿。"

亚伯拉罕·林肯

也许我们无法判断一个观察结果是否正确,但是如果不能给出"正确性"的符号表示,对于观察者以及他们的观察结果就无法进行深入的讨论了。因此,这里引入一致性的概念,即不同的观察结果是否相容。

正如林肯所指出的那样,符号的一致性并不取决于观察者对观察结果如何命名。如果安德鲁·马韦尔(Andrew Marvell)[①]把某些东西称为{吊袜带,乱糟糟的},而赫里克则把它叫做{袖口,疏忽的},我们并不因此得出结论说他们两人不是一致的观察者。否则的话,英国人用英语说{袖口,疏忽的}和法国人用法语说同样的话也就产生了不一致。

上述观点可以归纳成**无关法则**:

定律不以它所选择的特定的符号而改变。

无关法则是一个十分有用的推理工具。现在,让我们来看一个系统研究者的具体例子,他推导出的计算公式据说能测量选择过程的难度。他通过下面的符号来表示难度:

$S=$ 所选择的物体占总量的百分比

$R=$ 未选择的(放弃的)物体占总量的百分比

虽然真正的公式冗长烦琐,我可以在难以置信的短短15秒之内把这些烦琐的部分去掉,因为我运用了**无关法则**。

推理过程是这样进行的:假设他的公式是

$$D = R^2$$

其中,D表示选择的难度。当然,真正的公式要复杂得多,但推理过程是一样的。举例来说,假设,我们的问题是从10头绵羊和90头山羊组成的总数为100的羊群中找出那10头绵羊。那么,我们有

$S=$ 绵羊占总量的百分比 $=0.1$

$R=$ 山羊占总量的百分比 $=0.9$

$D=R^2=0.9^2=0.81$

① 安德鲁·马韦尔(1621—1678),英国诗人、议员(1659—1678),玄学派诗人代表之一。著名诗篇有《致羞涩的情人》、《花园》等。——译者注



现在，假设我只是简单地换个角度来想这个问题，我从 100 头羊中选出 90 头山羊。那么，我们有

$$S = \text{山羊占总量的百分比} = 0.9$$

$$R = \text{绵羊占总量的百分比} = 0.1$$

$$D = R^2 = 0.1^2 = 0.01$$

换言之，根据这位系统学者提出的公式，从羊群中找出山羊要比从羊群中找出绵羊容易得多。如果真是这样的话，我们就可以从羊群中先找出山羊，然后再说，“噢，我改变主意了，我实际上是想从羊群中找出绵羊来。”

因为上面的公式中的 D 被假定为计算**所能做到的最好程度**，显然上面的结论是荒谬的。相反，如果把他的公式修改成：

$$D = R^2 + S^2$$

那么，从羊群中找出绵羊的难度为：

$$D = R^2 + S^2 = 0.1^2 + 0.9^2 = 0.82$$

而从羊群中找出山羊的难度为：

$$D = R^2 + S^2 = 0.1^2 + 0.9^2 = 0.82$$

这个公式至少符合**无关法则**。它的结果与我们找山羊还是找绵羊的想法无关，其结果都是一致的。同样，它可能还是一个**错误**公式，但是那就不仅仅是考虑**无关法则**这一个因素了。对于他的第一个公式，无关法则使我能够把麦子与麦糠分开，无关法则还能进一步建议我丢掉他那个荒谬的公式。

不管玫瑰叫什么名字，它的芬芳多姿是**一样的**，但是，人们也相信有时名字也会愚弄人。在革命的过程中或者革命取得胜利之后，很多东西有了新的名字以适应新的思维模式。例如，在 17 世纪的英国，宗教信仰者可以为自己取名为“相信基督远离通奸 · 威廉姆斯”；19 世纪的法国，为了彻底消灭皇室的印记，“蜂后”被改称为“产卵蜂”；在 20 世纪的俄罗斯，“察里津”改称为“斯大林格勒”，后来又改称为“伏尔加格勒”，随着俄罗斯社会中的执政者沙皇继之斯大林的更迭而不断改名。[15]

在科学界，随着革命性成果的出现，有些当初随意选用的名词也不得不做出相应改变。以计算为例，很多人对“定点运算”和“浮点运算”感到迷惑，我们发现在定点计算时，小数点浮动着，反之亦然。改变这种混乱到了需要一场革命（想一想法国的度量衡和俄罗斯的历法）的程度本身正揭示了它们在人们头脑中留下的烙印是多么深刻。

运用无关法则，通常也需要借助于数学符号表示方法来剔除言语中的枝蔓。衡量两个观察者的观察结果是否一致，首先要把他们的观察结果正规化。在赫里克的例子中，我们给出对每一个观察到的一对不协调的服饰赋予一个任意的名字，可以是：

a = {长袍，惹人心烦的}

b = {长袍，搭配错的}

c = {长袍，疏忽的}

等。这种符号表示方法还可以不受观察结果的子结构的影响，当我们不需要考虑每位观察者的视野广度和深度是否相同时，它就具有明显优势。

例如，另一位诗人可能只采用"服饰协调性"单一的概念来表达"服饰"与"不协调"。在他的语言中，不存在{长袍，惹人心烦的}这样的东西，只有"次长袍"；没有{袖口，疏忽的}，只有"乱糟糟"；没有{鞋带，马虎的}，只有"拖泥带水"。把这些内容结构排除出去，可以得到如下的符号表达：

x = {次长袍}

y = {乱糟糟}

z = {拖泥带水}

等。这样，就把他的观点也归纳成"一个符号——一种结果"的对应关系。通过这种方法，集合中的每一个符号就准确地代表了特定观察者的那个观察结果。

一旦我们将观察者 A（赫里克）的结果表示成

$$\{a, b, c, \cdots\}$$

而把观察者 B 的结果表示成

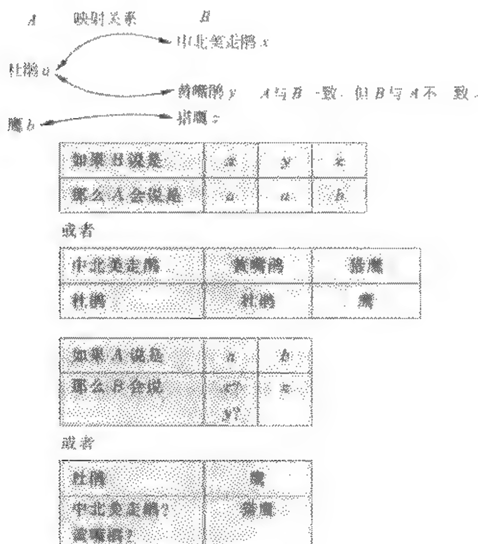
$$\{x, y, z, \cdots\}$$

则对他们进行一致性比较变得十分容易。**如果对于 B 中的每一个元素，A 中都不会出现两个不同的元素**，那么 A 和 B 就是一致的。

假设观察者 A 和 B 正在观察鸟。每当 B 说看见一只中北美走鹃时，A 却说看见一只杜鹃鸟——这是一致的，因为走鹃就是杜鹃鸟的一种。甚至 B 说看见了黄嘴鹃，而 A 还说是杜鹃，他们还是一致的，因为黄嘴鹃是另一种杜鹃鸟。A 只不过不能做到像 B 一样细致地辨别杜鹃鸟的不同种类罢了。

如果 A 和 B 是一致的，那么每当我们听到 B 说出他的观察结果时，就

能猜到 A 会看到什么。B 说是中北美走鹃，A 一定说是杜鹃；B 说是黄嘴鹃，A 还会说是杜鹃；B 说是猎鹰，A 会说是鹰。图 3-5 从几个方面说明了这种关系。首先，从 B 的观察结果到 A 的结果的连线表示了对应关系，其次，列表同样给出了 B 的结果与 A 的结果的映射关系。如果反向来看这个映射表，我们会发现，当 A 说是杜鹃时，我们却不能断定 B 会说什么。



如果B说是	x	y	z
那么A会说是	a	a	b

或者

中北美走鹃	黄嘴鹃	猎鹰
杜鹃	杜鹃	鹰

如果A说是	a	b
那么B会说	x? y?	z

或者

杜鹃	鹰
中北美走鹃? 黄嘴鹃?	猎鹰

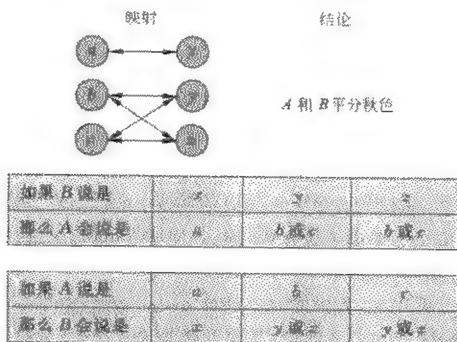
图 3-5　一个观察者占上风

从数学上讲，我们把这种对应关系定义为从 B 到 A 是**多对一映射**，而从 A 到 B 则是**一对多映射**。因为 A 中的一个元素可以在 B 中找到若干个元素与之对应，我们就认为 B 与 A **不一致**，即使这时 A 与 B 是一致的。

因为 A 与 B 是完全一致的，他的观察结果对 B 就没有附加价值。赫里克可以指出种种不协调的服饰穿法，而另外一个人只会说"瞧她衣服搭配得多糟！"——之所以一个成为诗人而另一个只是庸人，这就是其中的原因。如观察者一样，如果我们有了诗人，就可以不要庸人了，因为诗人比庸人更

为优秀。

在一般情形下，两个观察者之间很难出现上面所说的明显优势。图 3-6 表示的是 A 和 B 谁也不占优势的一种情形。有时候我们可以从 A 那儿获得一些从 B 那里得不到的东西，反过来也成立。图 3-7 给出了一种解释，设想 A 和 B 都在看一张桌子，其中一位从桌子的这一边看，另一位则从旁边看过去。因为桌子的表面与观察者的眼睛齐平，所以如果我们在上面扔一枚



如果 B 说是	x	y	z
那么 A 会说是	a	b 或 c	b 或 c

如果 A 说是	a	b	c
那么 B 会说是	x	y 或 z	y 或 z

图 3-6　两个不一致的观察者

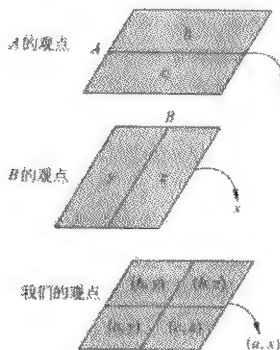


图 3-7　两种观点以及第三种观点

硬币，每个人能说出硬币落在了他（她）的左边还是右边，却不能说出硬币离自己有多远。另外，两人都可以说出硬币是在桌上还是掉到了桌子外。

对 A 来说，观察范围内会有三种结果：

a = 硬币不在桌子上

b = 硬币在桌子上，在我的左侧

c = 硬币在桌子上，在我的右侧

B 也有三种观察结果：

x = 硬币不在桌子上

y = 硬币在桌子上，在我的右侧

z = 硬币在桌子上，在我的左侧

如果我们扔出的硬币掉到了地上，那么 A 和 B 都一致判断出它没有落在桌面上，不过 A 会说出现了结果 a，B 则说是出现了结果 x。然而，如果硬币落在了桌面上，我们就无法从 A 给出的判断中推测 B 的判断结果，反之亦然。假使我们能以一种适当的方式利用 A 和 B 给出的信息，那么就有可能正确地判断出硬币到底落在哪个区域里。

在上面这个实例中，我们给自己找到了一个特殊的观点，就是图 3-7 中所谓“我们的观点”。很容易想像，在谈论其他人的观点时，我们自己的位置不知不觉中略微“高出桌面”一点儿，实际上我们没有任何理由可以超出那些观察者。然而，对于最简单的情形，通过引入一个明显假设的“超级观察者”，我们就可以对不同的观察者做出评论。这个超级观察者不需要是全知全能的，只需要拥有与其他观察者相一致的观察能力即可。比如说，在图 3-7 中，这个超级观察者只需能分辨以下 5 种不同的结果：

$$\{(a,x),(b,y),(b,z)(c,y)(c,z)\}$$

而对于图 3-5 而言，他只需拥有与 B 相同的认知能力，因为在那种情形下，B 的观察能力高于 A。

实际上，如果我们要求超级观察者**必须具有比现有任何其他观察者占优势的视点**，那么就可以精确地定义超级观察者的能力。在极端情况下，我们可以要求这个超级观察者可以看到其他所有观察者观察到的现象的笛卡儿乘积空间中的任何状态，如图 3-8 所示。为什么要这样呢？因为这样的乘积空间包含了所有观察者观察结果的各种可能的组合，这也是我们非常喜爱笛卡儿乘积的原因所在。



如前所述，笛卡儿乘积空间所给出的是最大的可能空间。图 3-7 中，我们只需考虑 9 种可能状态中的 5 种，而在图 3-5 中，超级观察者仅需分辨 3 种不同结果。不过，如果出现除了每个观察者的观察范围之外我们对他们的特性一无所知的情况，我们就必须依靠这样的最大可能空间了。

注意，这里引出了一个综合元素：超级观察者的能力。虽然这种能力并不是无限的，但其增长速度却比一般观察者快得多。如果只有两个观察者，他们各自都能分辨出 10 种不同情形，那么，凌驾于他们二人之上的超级观察者就应该具有 10×10＝100，即 10^2 的分辨能力。如果加入第三个观察者，这个数就将增长到 10^3，也就是 1000。换句话说，随着观察者人数的增加，超级观察者的能力要按照组合的原理以**指数形式增长**。

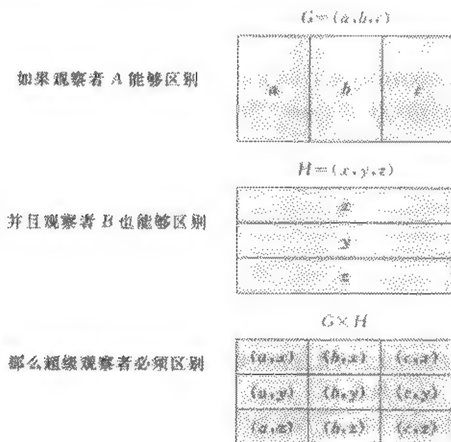
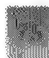


图 3-8　超级观察者的组合力量

在多个视点存在的时候，组合增长会带来致命的弱点。因此可以设想，超级观察者更适合于简单的情形，即使是具有中等复杂程度的问题，也很难设想超级观察者能很好地发挥作用。我们可以采用超级观察者的技巧来讨论简单情形的问题，却不能机械地类推设想现实生活中真的存在这样的超级观察者。我们更要避免把自己当成这样的超级观察者，具有认识普通人看不到的现象的本领。否则，A 就会判断说**我们**就是杜鹃鸟。



参考读物

推荐阅读

1. Authur. D. Hall, and R. E. Fagen, "Definition of System." In *Morden Systems Research for the Behavioral Scientist*, Walter Buckley, Ed. Chicago: Aldine, 1968.
2. Eleanor Gibson, "The Development of Perception as an Adaptive Process." *American Scientist*, 58, 98 (January-February 1970).

建议阅读

1. E. H. Gom,brich, *Art and Illusion*. New York: Pantheon Books, 1961.
2. Studs Terkel, *Hard Times*. New York: Avon Books, 1971.

符号练习与答案

符号练习[①]

1. 写出文中赫里克诗歌的每一行所有"第一个单词的集合"。该集合中共有多少个元素？
2. 按照字母将1中的元素分成子集，也就是将所有具有同样字母开头的元素归并在一个子集中。
3. 给2中的每个子集一个代表符号进行标识——采用首字母方式。写出所有符号的集合，并描述每个集合的含义。
4. 重复2和3，但是采用最后一个单词以及最后一个字母做区分。
5. 假设我们有两个观察者："首字母"和"尾字母"，分别只能看到每一行的第一个字母或者最后一个字母。写出居于两者之上的一个超级观察者所能看到的所有集合之积。

① 引进新的符号时，都会提供符号练习以方便读者。由于受过数学训练的读者或许不需要这些练习，因此将符号练习与思考题分开。这些练习更多的也只是对符号的练习而不是思考题。读者可以与练习的答案对照，看看自己对符号的掌握程度。

6. 5 中的超级观察者真的需要分辨该乘积集合的每一个元素吗？为什么？
7. 假设出现了第三个观察者，"奇-偶"，他用某种办法只能辨别出每一行是奇数行还是偶数行，所以他的观察集合是{奇，偶}，其中第 1、3、5、7、9、11、13 行属于"奇"，第 2、4、6、8、10、12、14 行属于"偶"。这种奇一偶观察优于"首字母"或"尾字母"观察者吗？画出相应的图来加以说明。
8. 如果 6 中的超级观察者想优于"奇—偶"观察者，他需要扩展自己的能力吗？

符号练习答案

1. {A, Kindles, Into, An, Enthralls, Ribbands, In, I, Do ,Is}。注意集合中不能有重复元素，所以 A 只需出现一次，14 行诗歌的首字母共计 10 个。
2. {(A, An), Kindles, (Into, In, I, Is), Enthralls, Ribbands, Do}。理论上讲，单元素集合也是集合，应该用括弧括起来，为了简明，我们均做了省略。
3. {A, K, I, E, R, D}
4. {dress, wantonness, thrown, distraction, there, stomacher, thereby, confusedly, note, petticoat, tie, civility, art, part}
   {(dress, wantonness), (thrown, distraction), (there, note, tie), stomacher, (thereby, confusedly, civility), (petticoat, art, part)}
   {S, N, E, R, Y, T}
5. { (A,S), (A,N), (A,E), (A,R), (A,Y), (A,T)
   (K,S), (K,N), (K,E), (K,R), (K,Y), (K,T)
   (I,S), (I,N), (I,E), (I,R), (I,Y), (I,T)
   (E,S), (E,N), (E,E), (E,R), (E,Y), (E,T)
   (R,S), (R,N), (R,E), (R,R), (R,Y), (R,T)
   (D,S), (D,N), (D,E), (D,R), (D,Y), (D,T)}
6. 对这个问题而言，超级观察者只需辨认以下 11 种不同的组合：
   {(A,S), (K,S), (A,N), (I,N), (A,E), (E,R), (A,Y), (R,Y), (I,T), (I,Y), (D,T) }.
   原因是：诗歌共 14 行，所以他没有必要分别多余 14 种的不同状态；其次，有 3 行都是{A,E}，2 行是{I,T}，所以又减少了 3 种可能的组合。
7. 首字母观察者优于这个观察者，但尾字母观察者却不是。从首字母到奇-偶的映射为：

首字母	A	K	I	E	R	D
奇一偶	O	E	E	E	E	O

故而首字母具有很强的奇—偶模式。

而我们能给出的最好的尾字母到奇—偶的映射是：

尾字母	S	N	E	R	Y	T
奇—偶	?	?	O	E	?	?

这是因为诗歌押韵造成的部分行的结尾一致。

8. 不需要。因为超级观察者已经优于首字母观察者，而首字母观察者又优于奇—偶观察者，所以，超级观察者优于奇—偶观察者。所以，我们可以知道，“优于”关系是一种“可传递”的关系。

思考题

1. 童年游戏

当事物重复出现时要求观察者能正确地指认相同点看来很容易，不过请看看图 3-9 所示的游戏，这种观念可能会发生动摇。请尝试解决图画之谜，然后据此谈谈就观察者和观察结果而言你有何发现。

2. 社会学

社会科学家特别倾向于用令读者感到困惑的隐含规则来定义他们面对的集合。先读一读菲利普·斯拉特下面的论述：

> 如 19 世纪许许多多成功的乌托邦社团一样（比如说欧内达和阿玛那），清教徒们自从卷入成功的经济企业后就受到了侵蚀……

请考虑这句话隐含的集合（"许许多多"）到底有多大，选择的规则（"19 世纪许许多多成功的乌托邦社团"），以及作为典型成员的实例（"欧内达和阿玛那"）。

参见：Philip Slater, *The Pursuit of Loneliness*. Boston, Beacon Press, 1970.

John Humphrey Noyes, *History of American Socialisms*. New York, Dover, 1966

3. 集合论

观察下面的集合，并请对每个集合至少给出 5 个后继元素：

{1，2，3，…}

{Mathew, Mark, …}

{痛苦，咽喉，脸，…}

4. 药理学

> 当科学家们发现某种药物的副作用比主要作用更加有意思时，常常会重新确定药物的归类。神经调节药物的历史就充满了这样的



图 3-9　两幅图中有 10 个不同之处，是哪些？这是欧洲流行的一种游戏

本图取自 Femina 杂志 1971 年 8 月 25 日（瑞士洛桑 1034，瓦伦丁大街 10 号）

故事。哈塞卡首先是一种泌尿系统的杀菌药，氯丙嗪当时是手术前帮助病人入睡的一种麻醉药……直到后来人们才认识到他们的主要

作用在于调节神经。锂元素、安非他明、异烟酰异丙肼等药物的"特殊"功效的发现也有同样的历史。

参见：Henry L. Lennard，et al. "Hazards Implicit inprescribing Psychoative Drugs." *Science*，169，438(1970)。

用相对—绝对两种思维方式来理解"副作用"和"主要功效"的概念。

5. 物理学——弹性理论

用相对—绝对思维方式来讨论下述命题：

通常，我们称弹性结构发生"微小"偏斜，当且仅当这些结果是根据经典线性弹性理论计算出来的。

6. 大学生活

据报道，中国的大学不再驱逐有"学术问题"的人。请讨论这种变化对大学在社会中的作用——在中国，在美国（假设情形也是如此）有什么影响。

7. 人口统计学

人类学家和社会学家在研究中常常把一个村庄看成一个系统，这种系统的特征之一就是"生活在这个村庄里人们的集合"。讨论如何穷举出系统中所有元素，以及在此过程中遇到的实际及概念上的困惑。

8. 法律

讨论法官、仲裁者以及超级观察者间的关系。

9. 作为观察结果的历史

假设某军官刚刚赢得一场战役的胜利，然后立即着手亲自记录该战役。是他制定了整个战役计划，也是他本人指挥了整个战役，并且因为战役规模不大（为了使问题更清楚，不妨假设过去历史上发生在局部地区的战役），最终他本人得以完整地看到战役的全貌。即使如此，我们也无法否认，至少在某个重要的细节上，这个指挥官不得不参考他手下联络员的报告。然而作为这样一个叙事者，他就必须承认好像曾经花了一些时间参与了这场战役。而作为指挥自己的人马参与整个波澜起伏的战役过程的指挥官，我们认为什么样的信息

对他是最重要的呢？是他从望远镜中看到的混乱场面，还是信使或副官们匆匆送来的报告？部队的指挥官很少能成为自己的观察者。同时，即使人们已经接受了这样的假设，又是什么造成了声称拥有对当今社会进行研究的特权的这类“直接”观察的奇迹？

事实上，这只不过是一种错觉，至少只要这个观察者稍稍拓展一下自己的视野就行了。我们所看到的好的那一半源于他人之眼。

请讨论在你本人的领域中，哪些“观察”是源于“他人之眼”？

参见：Marc Bloch, *The Historian's Craft*, p. 49, New York: Vintage Books, 1953.

10. 学校和香蕉法则

我的一个学生，吉米・艾迪斯曾经给出香蕉法则的这样一个实例：

我想回到学校去，可是我不知道如何停下来。

另外一位不知名的学生说道：

学生在学校接受了怀疑论的教育，但是没有教他们如何停止怀疑，所以他们只好自杀了事。

用香蕉法则对上述说法发表你的观点，并且举出你的学校遵守该法则的一些实例，请提出建议：学校该在什么时候停止应用这些法则。

第4章 对观察结果的解释

一个愚蠢的村民中了六合彩的年度大奖，奖品是两匹骏马和一辆漂亮的马车。于是有个无赖之徒就要求搭乘他的新马车，并向他打听："你是怎么猜中获奖号码的，有什么诀窍吗？"

这个反应迟钝的家伙没听出问题的关键，便回答："哦，这很简单。你看，我的幸运数字是7，而抽奖是在本月7号举行，我用7乘7就得到了63，也就是中奖号码。"

"蠢驴！"游手好闲的无赖笑得差点从座位上跌下来，"难道你不知道7乘7应该是49吗？"

"哦，"那个白痴看到自己被嘲笑，便说："你只不过是嫉妒罢了。"

民间故事

状态

状态就是一种在重现时可以被识别的情形。

无名氏

上一章结束时我们提出了严苛的警示，但在接下来的讨论中，我们暂时先把这些警示置之一旁。设想你走进一个陌生的房间，里面有一个大黑箱。由于当时房间里没有其他观察者，可以认为你不仅是超级观察者，而且是一个超-超级观察者。也就是说，无论怎样的观察者进入房间，从观察能力的角度来讲你都可以完全支配他们。

实际上，在你身旁只有两名观察者，并且他们现在已经在这里了。需要注意的是，超-超级观察者这一概念包含了可能的所有观察，比较接近"现实"的概念。换句话说，我们所谓"现实"这个概念与人们所说的"上帝"十分接近。

现在，你就可以在这个放着黑箱子的房间里当一回上帝了。你的超-超级能力使你很快发现，对于箱子，需要观察的事情只有：红灯光(R)、绿灯光(G)和哨声(W)，这个就是你的观察**范围**，记作：

$$S = \{R, G, W\}$$

灯光有开和关这两种可能的状态。尝试一下我们新学的技巧，定义"开"的状态为 1，"关"的状态为 2。这些数字并没有度量单位，只是诸如 x、a、S 或 *Katz* 这样的简单的表示符号。

因此，灯光的取值**范围**是：

$$R = (1,2)$$

$$G = (1,2)$$

哨声稍微复杂一点，有 6 种音调，记作：

$$W = (1,2,3,4,5,6)$$

由于观察的范围是

$$S = \{R, G, W\}$$

用笛卡儿乘积可以立即写出所有可能的状态，如图 4-1 所示。为了便于观察黑箱的**行为**，可以把乘积空间的元素缩写为：

$$a = (1,1,1)$$

$$b = (1,1,2)$$

等，如图所示。

缩写有助于记录箱子的行为，因为你虽然有超级的观察能力，却没有超级的记忆力。掏出纸和笔，记下**观察结果的顺序**，可能是：

$$\cdots\cdots\ a\ n\ i\ k\ a\ n\ i\ k\ a\ n\ i\ k\ a\ n\ i\ k\ a\ \cdots\cdots$$

这样的符号序列表示起来比较简便，否则就可能需要写成：

> 两个灯打开并且有一个低哨声；然后红灯灭了，哨声增大了一些；然后哨声再增大一些，同时绿灯灭；然后灯的状态保持不变，哨声增大两级；然后绿灯打开，哨声降至最低点……

很容易验证,上述两种表示方法描述的是同样的情况。

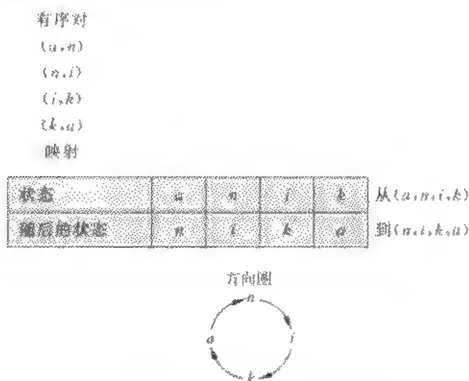
R	G	W	名称
1	1	1	a
1	1	2	b
1	1	3	c
1	1	4	d
1	1	5	e
1	1	6	f
1	2	1	g
1	2	2	h
1	2	3	i
1	2	4	j
1	2	5	k
1	2	6	l
2	1	1	m
2	1	2	n
2	1	3	o
2	1	4	p
2	1	5	q
2	1	6	r
2	2	1	s
2	2	2	t
2	2	3	u
2	2	4	v
2	2	5	w
2	2	6	x

图 4-1 黑箱的所有可能状态

所幸序列有大量的规则或约束,否则书写起来还是会很麻烦。要判断问题复杂度,一般来说聪明的做法是问:“会多出多少种写法?”,而不能简单地问“一共有多少种可能的序列?”因为序列的长度可能是无限的,而且可能的序列会有无限之多。所以,我们可以这样问:“当序列长度增加时,序列数目增加的速度有多快?”

如果一个序列中有两种观察结果，则此序列是由从 24 个状态中选出的一对元素组成。于是，所有可能的配对为**乘积空间**，即有 24^2 种可能。因此，当序列长度为 2 时有 24^2(576)种可能的序列；同理，当序列长度为 3 时有 24^3(约 14 000)种可能的序列；长度为 4 时有 24^4(约 300 000)种；依此类推，当序列长度为 n 时就有 24^n 种可能的序列。也就是说，可能的序列数目随序列长度增长呈指数增长。

超级观察者需要超强的记忆存储能力来记住所看到的一切，要不然就只能是他看到的碰巧都是高度**约束的**序列。鉴于我们考虑的序列都是高度约束的，可以采用一些简明的方法多我们的观察做记录，参见图 4-2。首先，我们写出每一个前驱-后继对，从中可以大致看出约束的程度。显然，在 576 种可能的**有序**对中只有 4 种会实际发生。



状态	a	n	i	k
随后的状态	n	i	k	a

图 4-2　同一序列的三种表示法

由于有序对非常少，所以很容易把它们写成从观察状态**集到自身的映射**的表格形式。前面我们曾用这种映射**形式**来说明两种观点的一致性。映射可以表示任何两个集合之间的关系，更确切地说，是从任何集合到另外集合(包括到其自身)的映射关系。

这种情况下，映射表示的是序列——也就是另一种形式的关系，即两个相邻观察结果之间的关系。这个映射中没有任何含糊不清的地方，因为它

不是一对多的映射——因此,已知一个观察结果,则这个序列就是**完全可预测的**。采用**定向图**表示,这种可预测性会更加明显。箭头从每个状态指向它的后继状态,其中,每个箭头对应于一个**有序对**或映射表中的一个**表项**。

尽管在数学上图4-2中的三种表示形式是等价的,但在心理学上是它们并不相同。例如,从有向图中我们可以立即看出序列构成一个**循环**,而在另外两种表示形式中没这么明显。

实际上,用其他方法找出序列中的循环是件非常麻烦的事,麻烦到让有感情的人生厌。当然,你可能并不知道序列可能一直就没有什么变化,但在经过几百次的重复后,你会归纳出:"上帝啊,**只要我不插手,它将会永远**这样循环下去。"

迄今为止,你一直是一个完全**被动**的观察者。尽管你是无所不知的(能看到发生的一切),但你并不是无所不能的(具有所有的能力)。实际上,作为超级观察者,你是没有任何能力的——你无所不知但又毫无能力。

你现在的游戏,系统研究者称为"黑箱"游戏。黑箱游戏要求观察者不能看着黑箱内部而参与操纵。进行这种概念游戏的目的是加深对观察过程的理解。黑箱既可作为概念工具[1],也可以作为效率的教学工具[2],但千万不要把它误解为实际观察者的一种严谨模型。

黑箱所描述的是一个不会对所研究的系统产生任何影响的观察者。当天文学家研究不断扩张的宇宙时,这个模型是可行的;但当研究的目标接近地球时,这个模型就不可行了。比如,一个茶杯大小、八只脚、毛茸茸的黑方块在毛线篮子里爬行时,我们可以把它看成黑箱;但是,无畏的德国牧羊犬——赫斯克利夫对这只蜘蛛朋友有独特的研究方法。它先瞧一瞧、闻一闻,然后用爪子左边拍拍,右边拍拍。显然,使用爪子是违背黑箱规则的,不过要知道赫斯克利夫对于游戏规则并不了解,它只是要考虑一下,这个黑方块是该吃掉呢还是该拿来玩一玩。

只要愿意尝试,人们总能与所观察的系统互动。即使是丹尼尔·F.,当他手拿一罐啤酒坐在电视前看节目时,在厌倦的时候他也会换换频道。对于**被动感知的**观察者,可以认为世界与他们互不相干;但对于**愿意参与的**观察者来说,世界依赖于他们的行为。

如果能够改变点什么,我们就不会很快厌倦,所以趁着我们还没有对黑箱产生厌倦之前,暂时抛开纯粹黑箱游戏的规则,给予作为观察者的你非常

有限的一点与系统交互的权力。

首先,你开始仔细欣赏黑箱子的爱德华时代的装饰。一不小心,你触到了隐蔽处的弹簧,一扇小门打开了,里面写着:敲打我。

这使你想起当爱丽思[①]发现写有"喝了我"的瓶子时所发生的故事,最终好奇还是战胜了恐惧,像赫斯克利夫对付蜘蛛一样,你小心翼翼的敲了一下箱子的底板。

灯光和声音的模式立刻发生了改变,我们看到的是:

$$\cdots\cdots g\ m\ d\ f\ g\ m\ d\ f\ g\ m\ d\ f\ g \cdots\cdots$$

这样的循环让你好奇了一阵,接着你又狠狠地敲了一下,结果得到另外的结果:

$$\cdots\cdots b\ j\ r\ c\ q\ h\ p\ l\ o\ e\ b\ j\ r \cdots\cdots$$

这个循环的周期长一点,让你多看了一会儿。但是,当你继续敲打箱子时并没有发现新的循环,也就是说,只有这三种循环,分别画在图 4-3 中。尽管实际上还有 6 种循环你未见到,但最终你还是放弃了。你灰心丧气地离开了房间,去弄些吃的。毕竟,即使是超级观察者经过长时间的工作也会觉得饿的。

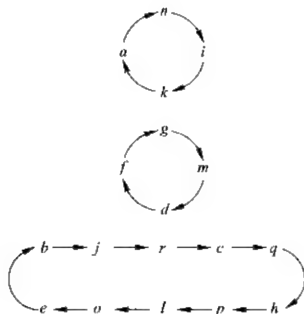


图 4-3　黑箱三种循环的有向图表示法

不过你的胃口似乎还需要被吊一会儿,因为你离开房间时碰到一位朋

① 《爱丽思漫游仙境》的主人公。——译者注

友，他问你："里面有什么呀？"

"没什么，"你强忍着哈欠回答到，生怕露出心中的抱怨，"只不过是19世纪某种怪异的发明而已。有着不错的装饰，但没什么意思，只有三种循环，而且都是完全确定的。你可以敲打它，改变循环周期，不过好像也没什么用处。"

"听起来挺奇怪的，"他说，"不如你在这儿等我一下，我去瞅一眼，然后我们一起吃午饭吧。"

午饭的承诺使你等了足够长的时间，当你的朋友再次出现时，他看起来有点困惑，又有点遗憾。"的确不错，不过我觉得你算不上一个合格的观察者。"

"'不够合格的观察者'是什么意思？我可是一个超超级的观察者。"

"首先，它只有两种循环，而不是三种；其次，这两种循环根本不是确定的。"

"这不可能！"你反驳道。"它有两种4个状态的循环，还有一种10个状态的循环。我可是观察了足足一个半小时的。"

正在这时，一个身着海狸皮大衣的陌生人走过来说："正如你所说，的确是有三种循环，不过最长的一种循环只是由5种状态组成的。"

"你怎么知道的？你连那房间都没进去过。"

"那是我做的。谁能比我更了解我的音乐盒呢？"

"音乐盒？那不是音乐盒。"

"我说是它就是。一个皇家音乐盒，是为雷德皇后准备的礼物……"

"看，"你打断他的话，"先不要说什么皇室。这本书的作者告诉我，我是一个超级观察者，所以只要我说它不是音乐盒，那么……"

"不要打岔！你能够看到全部，并不等于你了解所有的情况。"

"嗨，你们两个不要吵了，"你的朋友大声喊叫着走到你们中间，就差没挥动拳头了。"大家冷静一下。你是发明者，你是超级观察者，而我呢，拥有物理学博士学位，我知道应该怎样进行观察。好吧，现在我们一块儿进去，让我来证明给你们看，很明显只有两种循环。"

"如果确实如此，那一定是因为你不断敲把它给敲坏了。可是，是谁允许你敲打我的机器的？"

"别装样子了！那机器上明明写着'敲打我'。"



你们三个依次走进房间，那个发明者说："你们看，'敲打我'是皇后的至理名言，它的意思是'冲我叫喊'。音乐盒能够演奏三首国歌，要想改变音调，只需对它大声喊叫，要知道这是皇后最喜欢做的。看着！"他大叫一声，模式改变了。过了一会儿，又大喊了一声，于是模式再次改变，这时，大家齐声喊道："瞧，和我说的一样！"

眼—脑定律

> 很多年前，法国领事在课上给大家看了一张胶片，至今我还记忆犹新。那时，我正在学习东南亚文化调查，那张胶片讲的是吴哥窟。其中有一个场景：一位颇具威严的白胡子老教授在给一位学者模样的人讲述废墟的一部分。一块脱落的雕塑碎片引起了长者的注意，于是他指给同伴看。不巧的是，一个高棉工人正巧在碎片前面弯下腰，可能要做什么。那位年迈的考古学家毫不犹豫地用手中的扇子将这个柬埔寨人捅到了一边去。对于法国的媒体而言，这个殖民主义的小插曲太过平常，好像根本不存在一样。
>
> **莫顿·H. 弗莱德[3]（Morton H. Fried）**

当过一次超级观察者，你就再也不会因为自己能看到但别人看不到（就像上面提到的法国媒体）而感到惊讶了。通过对上文提到的"你"和"其他人"应用无关法则，我们就得到了另一种总是令人难以接受的见解。也许我们把对话继续进行下去就会知道为什么你和那个发明者差点要动手了。

发明者告诉大家音乐盒可以演奏六种不同的曲调，这一点我们是知道的，但是那个学物理的朋友由于耳朵的问题，只能听到三种曲调。我们又问起灯光，发明者反问："什么灯光？"

"正面的灯光呀——红色的和绿色的？"

"那什么也不是。只要有一个亮着就行。那不过是个安全装置——跟音乐盒没什么关系。"

"要知道，"那个学物理的朋友插嘴到，"对于任何一种设备来说，只有在危险的情况下红灯才是亮的，在试验室我一直恪守这样的安全规则。绿灯的确不重要，但红灯是有特殊含义的，这一点你还是改一改吧。"

迷雾顿时揭开了。发明者忽略了灯光的因素，所以他认为只有六种状态——哨声的六种曲调。对于他来说，盒子的"功能"是已知的，所以，与超级观察者不同，有许多状态他并不需要区分。如图4-4所示，每种状态对应于我们前面所说的四个状态，其特性的影响如图4-5所示。

状态	曲调	我们的相应状态
A	1	$\{a,g,m,s\}$
B	2	$\{b,h,n,t\}$
C	3	$\{c,i,o,u\}$
D	4	$\{d,j,p,v\}$
E	5	$\{e,k,q,w\}$
F	6	$\{f,l,r,x\}$

图4-4　发明者的视角

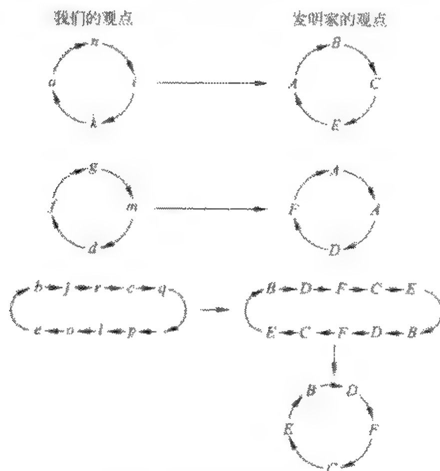


图4-5　对发明者视角的分析

发明者将我们所说的几个状态合成了一个状态，所以可以通过映射将超级观察者视角中的有向图映射成发明者视角中的有向图。例如，循环"a n i k"映射成"A B C E"。如果你不能掌握发明者的视角，二者就不会有惟一

的映射关系；同样，发明者也不能通过惟一的映射关系得到你的视角。

尽管你的每一组状态都对应发明者的一个状态，但二者结构并不相同。比如说，你看到的是一个有 10 个状态的循环，而他看到的是只有 5 个状态的循环，即“B D F C E”反复两次。这就好比对于门卫来说是 1 个学年，而对于教务主任而言就是 2 个学期。

另外一个不同之处在于，在你的视角中这一切是“状态可确定”的，而在发明者的视角中则不然。他不能画出像图 4-2 那样的图来，因为每个状态后面跟的不总都是同样的状态。例如在第二种循环中，他既能看到(A,A)对，又能看到(A,D)对。而且，状态 A 也出现在第一种循环中，其后跟随的是 B。所以说，如果观察到一种状态是无法确定下一状态的。

不过请注意，**如果发明者能记住前两次的状态**，那他就可以预测下一个状态。A 的后面可能是 B、D 或是 A 本身，但是**序列**(F,A)后面只能是 A。这种用脑替代观察力的做法是一种观察者通用定律，即**眼—脑定律**：

在某种程度上，脑力可以弥补观察上的不足。

根据对称性，我们立即可以得出**脑—眼定律**：

在某种程度上，观察力可以弥补脑力的不足。

你的那位物理学博士朋友（他的视角在图 4-6 和图 4-7 中描述）需要更强的**记忆力**以弥补他观察上的欠缺。因为如果他看到(V,W)，则后面跟随的可能是 S 或 V，仍然是无法惟一确定的。从图 4-6 中可以看出：他与发明者一样，观察到六种状态。显然脑力不仅仅依赖于所能**区分的状态**，还依赖于**其他因素**。

状态	红色	猜测	我们的相应状态
S	1	(1,2)	(a,b,g,h)
T	2	(1,2)	(m,n,s,t)
U	1	(3,4)	(c,d,i,j)
V	2	(3,4)	(o,p,u,v)
W	1	(5,6)	(e,f,k,l)
X	2	(5,6)	(q,r,w,x)

图 4-6　朋友的视角

眼—脑定律的许多例子顿时涌入脑海。有经验的医生与实习医生相比，做出相同的诊断，他需要的化验结果通常少得多；换个角度讲，实习医生往往可以代替工作多年的化验员，尽管他还没有积累什么经验。夜间开车时往往会开得慢一些，这是为了有充足的时间来判断潜在的危险，以弥补视觉上的不足。人们通常会将事情记在小纸片上以提醒自己，这是为了减轻记忆的负担。

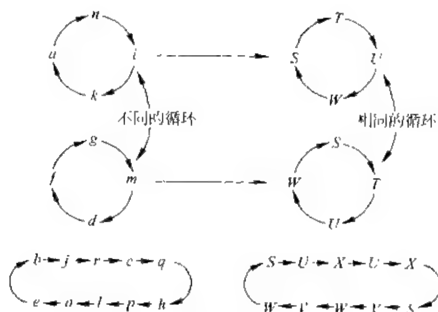


图 4-7 对朋友视角的分析

对于没有任何限制的观察，眼—脑定律并非总能奏效。如果未来与历史没有相似之处，记忆就毫无用处了。前面的那位物理学家正是因为红灯和绿灯的含义与他以往的理解不同，所以才被引入了歧途。对于一个状态确定的系统他考虑了很多，但是由于他划分得太细，竟没发现黑箱实际上是一个音乐盒。

超级观察者的目的是要做尽可能多的区分，所以在他的活动中是不使用记忆的。尽管他可以看到微妙的细节，但却很容易"只见树木不见森林"。正如发明家所说，"看到了全局"并不等于"了解了全部情况"，因为了解意味着要知道哪些细节可以忽略。我们只能通过观察反复出现的情形来达到对系统的了解。所以我们所谓的"状态"，就是指一种如果重现则可以由观察者再次识别的情形。

区分过多的状态是因为**缺少归纳**。人们通常认为科学家总是尽可能得到精确的测量结果，以便建立他们的理论；但在实践中，测量不准确倒成了

科学家的一件幸事。牛顿的万有引力定律是建立在开普勒的椭圆轨道理论的基础之上的，而开普勒是根据第谷·布拉赫(Tycho Brahe)的观测结果计算得出椭圆轨道的。如果观测结果更精确一些(像我们现在可以做到的一样)，那么轨道就不能看成是椭圆的，牛顿的工作会遇到很大的麻烦。如果有更精确的观测结果，那么第1章中提到的简化工作就要由牛顿来完成了，确切地说，这就会带来很大的麻烦。

因此，"脑"和"眼"之间的平衡不能过多地偏向任何一方，科学的任务是要找到两者之间恰当的折中方案。

广义热力学定律

> 举例来说，如果有人问：把温度不同的两个铜块放在一个绝热的容器里面，结果会怎样？大家都会回答说：最终二者的温度将会相同。当然，如果继续问为什么，大家通常会说"这是自然界的规律。"……反之亦然……因为事实如此，所以是自然界的规律。
>
> **约翰·R. 迪克松和小奥尔登·H. 埃默里[4]**
>
> **(John R. Dixon and Alden H. Emery, Jr.)**

对音乐盒的看法分歧说明：涉及复杂系统时，观察也变得很复杂了。不过，我们可以设想三个观察者看到的是相同的情况。比如，箱子的实际行动是：灯光不变，音调的变化只有(1,3,5)三种，则三个观察者的观点是一致的。物理学家听不出音调1和音调2的区别，但是2并没有出现过，所以他听力上的缺陷没有造成任何影响。而且，由于灯光从未改变过，作为超级观察者的你观察到的状态也会少一些，比如(s,t,u,v,w,x)这样的情况就不会发生，因为至少有一个灯是亮着的。

尽管三个观察者的观察能力大相径庭，但在某些情况下，他们的观点是一致的，如图4-8所示。观察依赖于观察者的特点，又不完全依赖于这些特点。对这个问题有两种极端看法——"现实主义"的看法和"唯我论"的看法。"唯我论者"认为，在他的头脑之外不存在现实，而"现实主义者"认为他的头脑本身就是现实的。二者犯了相同的错误。

任何观察都包含两个部分，这种双重性人们早就认识到了，只是常常把



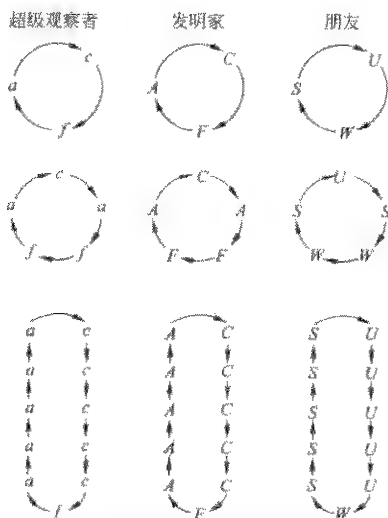


图 4-8 演奏三种不同曲调的音乐盒

它忽略掉了。伽利略认为：

> ……区分了本原性质和辅助性质——前者是物质内在的，后者是拥有特定本原性质的主体与人(或动物)的感觉器官交互的产物。[3]

伽利略的许多学术继承人忽略了这些区别，提出了令我们感觉十分缜密的广义热力学定律：

> 在没有特别限制的情况下，出现概率大的状态要比出现概率小的状态更容易被观察到。

尽管可能会遭到物理学家的反对，我们还是将这个定律称作广义热力学定律，因为它的两个非常重要的部分与热力学第一、第二定律对应。热力学第一定律的核心在于所谓"能量"的守恒，它遵从相当严格的"绝热"条件。然而，第二定律就不同了，它关心的是研究由大量粒子组成的系统时观察者

具有有限的权力的问题。将这两个定律与伽利略的本原性质和辅助性质进行类比，可以将定律重新定义为：

> 我们频繁看到的事物是频繁发生的，因为：
> 1. 有满足某种状态需要的物理上的原因(第一定律)。
> 2. 有某种精神上的原因(第二定律)。

由于现实主义者信仰始终占据统治地位，所以，尽管实际存在的比眼前见到的还要多，仍然没有必要在第一点上啰嗦太多。提出这个定律是为了纠正过分的现实主义想法——令人窒息的思想。下面通过一个例子来说明第二定律。

图 4-9 中的两手牌哪个更像打桥牌时见得到的？（你并不需要懂得如何打桥牌——我们只是从本质上说明如何公平地分发 13 张牌。）

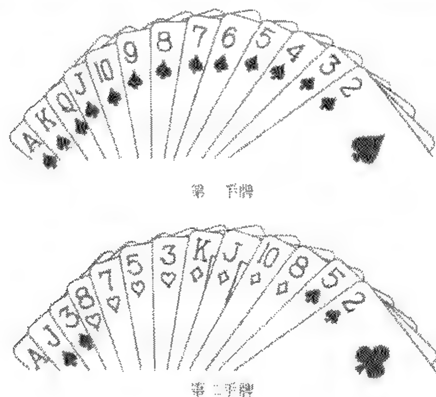


图 4-9　两手桥牌

大部分会打桥牌的人会立即回答：第二手扑克牌更像。不过对统计学家而言，这两手牌的出现的可能性是一样的。为什么？如果是公平地发牌，**任何精确设定**(Precisely specified)的 13 张的牌型出现的概率与其他各种可能性都是一样的。实际上，统计学家所谓的“公平发牌”就是这个意思，这与我们建立在无关法则基础之上的一般系统化的直觉是一致的。纸牌会在乎



它上面画的是什么样的花色吗?

但是,桥牌手的直觉就不同了。为什么他们凭直觉认为第二手牌比第一手牌更合乎实际呢?原因在于桥牌的游戏规则——给某些牌的组合赋予重要的含义,而不仅仅是简单的纸牌的组合。

当我们学打桥牌时,会学习忽略某些对桥牌而言不重要的部分。对于像陆战棋、老处女①这样的游戏,配对并不重要,所以不必注意配对问题。

在桥牌中,大牌通常是很重要的,小于10的牌一般就不重要了。当桥牌高手用五个"小"红桃做成一副牌时,我们总会留下深刻印象的。介绍桥牌的书总是把小牌印成无名的 x 以显示其不重要,就像政府总是把我们看成无名的统计数字来暗示我们的不重要一样。在经典的桥牌课程里,我们会看到图4-10所示的第三手牌。看到这手牌,桥牌手会难以回答相同的问题:

第一手牌和第三手牌哪个更像一手牌?

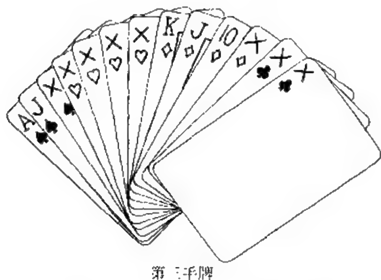


图4-10 不成其为一手牌的"一手牌"

尽管桥牌手隐约地知道,第三手扑克牌并不是真正的一手牌,但它表示了很多手牌。第二手牌恰巧是所谓的第三手牌集合中的一种情况,当桥牌手看到诸如第二手那样的牌时,会下意识地进行一些操作,比如:查点数、查分布或忽略小牌。因此,当我们给他看图4-9时,他会认为我们在问:

这两手扑克牌哪个出现的可能性更大?

---

① 一种简单的纸牌戏,先从牌中去掉一张牌,然后相互抽牌凑对子,最后手中持有单牌的人为输,被称为"老处女"(《英汉大词典》2324页,上海译文出版社,1991年)。——译者注

所以说，在桥牌手眼中，第一手那样的牌只有一种，这是必胜无疑的黑桃大满贯牌，是最佳牌型。然而第二手牌就很普通了，第三手牌代表的集合中任何一种都跟它差不多。既然我们所说的“第三手牌”集合中包含了上百万种可能性，奇怪的是出现第二手牌的可能性不到百万分之一！桥牌手是根据自己的经验转换成另外的问题来理解的——从这个角度看，他的回答是完全正确的。

我们总是习惯性地将问题转换后再理解问题。想想统计学家又是怎样理解我们的问题：

哪种情况更经常能看到……

我们平常说话一般是比较随意的，统计学家把“能看到”转换成“发生”，这就导致了他的误解。在实际的桥牌游戏中，第一手牌被**看到**的概率甚至比第三手牌都要大得多！为什么？因为尽管第三手牌发生的概率大，但它几乎不会被**看到**，也就是说，不会被玩牌的人特别**注意到**。而第一手牌虽说**很少出现**，但是一旦出现了，肯定会登在晨报上，因为对于桥牌界来说，这的确是一个轰动的消息。

显然，牌的大小以及它们**组合方式**的**重要性**这种“精神上的原因”，使桥牌手看到了有些牌型出现得比其他牌型更多些。这种说法的前提是“公平发牌”，换句话说，就是**没有“物理上的原因”**导致特定牌型的出现。当然，那些常打桥牌的人倒是知道**会有**这种物理上的原因出现的。在以牌会友的比赛中，如果某个人离开牌桌几分钟，回来后可能会发现已经给他发了 13 张黑桃。只要他不是过于迷糊，看到牌他一定会大笑起来，因为他知道他的同伴们幽了他一默。

但他又怎么**知道**他的同伴们捣鬼了呢？那是因为他知道，**公平发牌时出现这种情况几乎是不可能的**。其他情况也一样，但是我们认为发牌并非总是不公平的。所以当我们遇到明显不可能的情况时，总是**困惑不解**。是该相信自己的眼睛还是相信某种假设？是通知报社还是指责同伴们搞恶作剧？只有傻瓜才会给报社打电话，而且即使真的这么做了，也没人会相信。

同样，科学研究也受到保守主义的影响，假定观察结果必须与现有理论一致。如果观察与现有理论不一致，它很有可能被认为是谬误。如果观察是转瞬即逝、不可重复的，就会导致选择“有利”的结果。研究人员对历史数

据进行挖掘时，这种选择表现得非常明显，尤其在利用过去的天文学家的观察结果做时间上的研究时，那些观测结果是现在无法获得的。罗伯特·牛顿[9]把这种在值得怀疑的观察结果上标定时间和地点的过程称为"识别游戏"，并且指出，即使使用一堆随机数作为原始数据来识别，利用这一过程仍能得到"经典的"结果。

当然，完全用观察代替理论是不科学的。更糟的是，尽管通过观察的验证，但是所有与理论不符合的观察都被认为是假的——就像维也纳的女士们喝茶之前总要先称一称体重，如果轻了一公斤她们就会吃一块蛋糕；如果重了一公斤，她们就会说体重秤出了问题，然后还是要吃一块蛋糕。

这就是问题的所在，实际中详尽的原始数据对于科学研究来说实在是太多了。不可能出现完全相同的情况，除非是人为的。每个汽车牌照是一个奇迹，每个人的出生是一个更大的奇迹，那是 10^{100} 种可能的基因组合中的一种。对于超级观察者来说，任何复杂系统中的每个特定的状态也都如此。

"状态是一种如果重现则可以识别的情形。"但是如果我们没有把多个状态合为一个，那么任何状态都不会重现。因此，为了研究的需要，我们必须忽略状态的某些潜在区别，这样才可能研究各种情况。或者写成**结合定律**：

> 研究任何事情，绝不能试图研究它的所有情况。

实例？俯拾皆是。有一类东西叫做"书"，还有一类叫做"梯子"，如果我们不能区分二者，那么就会在图书馆里浪费很多时间。假设我们需要一本放在书架顶层的书，而手边又没有梯子。如果能够稍微放宽一点思路，我们可以搬来一叠书，然后站在上面。心理学家用这个问题进行测试时，一些人想了几个小时才弄清楚，还有些人最终也没弄明白。

所有的研究领域都是这样。如果心理学家认为每个白鼠都是奇迹，那么就没有心理学了。如果历史学家认为每场战争都是奇迹，那么就没有历史学了。如果神学家认为每个奇迹都是奇迹，那么就没有宗教信仰了，因为每个奇迹都是奇迹集合的一员，也就没有完全的惟一性。

科学不会也不能处理奇迹。科学只能处理重复的事件。每一种科学针对它所研究的系统都必须提出一套特有的状态结合的方法，以便产生重复。如何结合呢？当然不是任意的，而是由历史经验决定的——一种对于本科



学而言"可行"的方法。随着科学日趋成熟,"脑"逐渐代替了"眼",直到最后,仅通过观察的经验打破一种科学范式(传统的结合方式)几乎就不可能了。

功能符号与简化思想

> 通过数学方法,以内容的复杂性在某种程度上的损失为代价,我们可以大大简化处理过程。如果我们不考虑这些代价——实际上,我们很容易把这些代价抛到脑后——那么,随意地使用符号会给我们带来麻烦。我想说的是,数学在所有的应用领域中是一个出色的仆人,但是个糟糕的主人;作为仆人它是那么出色,以至于它很可能成为篡夺主人地位的不称职的管家。
>
> **肯尼思·伯丁**[7]

观察的黑箱模型阐述了调查过程的某一方面,但是对于整体来说这是相当被动的。观察者既不能改变箱子,也不能改变他自身。实际情况中,观察者必须自己定义观察的范围和纹理。由于这些特征对于观察起决定性的作用,我们不能简单地省略掉这一过程。

当观察者确定了某一特定的观察范围时,实际上,他已经默认了这些是重要的特征——或者至少是他所能观察的事情中最重要的。对于这种情况,数学上有一种简单的记法,叫做函数符号。比如,如果我们写:

$$z = f(a,b,x)$$

(读作,"z是a,b和x的函数",或者说"依赖于a,b和x")我们说z依赖于a,b和x——而且,就我们目前所知道或者所关心的而言,z只依赖于a,b和x。小写字母f通常用来表示"……的函数",当然也可以使用其他字母。比如,可以写成:

$$y = g(a,b,x)$$

我们可以说y也是a,b和x的函数;但是使用字母g,我们是想强调y是a,b和x的另一个函数。也就是说,尽管y和z都依赖于a,b和x,它们依赖的方式有所不同。

函数符号在一般系统的思维中具有非常重要的作用,因为当我们还不

能准确描述系统的行为特征时，利用它就可以表示该系统的部分信息。例如，牛顿在给出万有引力的确切表示形式之前，他可以这样表示：

$$F = f(M, m, r)$$

这样表示说明两个物体之间的引力(F)(仅)依赖于两物体的质量(m 和 M)和它们之间的距离(r)。一旦走到这一步，那么，得出确切的函数表示——万有引力定律——就很容易了。

函数符号也可以和显式公式同时使用，用来表示那种介于函数的相关当量和确切公式表示之间的阶段。如果牛顿先发现平方反比关系比质量乘积要早，他可以把结果总结成：

$$F = \frac{g(m, M)}{r^2}$$

也就是说，引力与距离平方成反比，与质量存在某种**不确定的依赖关系**。

同样，如果我们对函数的相关当量不明确，在函数符号中也可以使用省略号(……)，比如牛顿可以这样写：

$$F = \frac{h(m, M, \cdots)}{r^2}$$

意思是他已经知道引力与距离的反比关系，也知道它与质量之间有某种关系，但可能还有别的未知因素。

在已知很少的特定知识的情况下，许多一般性的讨论可以用简单的函数关系来表示。想想我们关于无关法则的讨论，研究者给出了一个公式。

$$D = f(S, R)$$

其中：

D＝做决定的困难程度

S＝被选取情况的百分比

R＝未被选取(放弃的)情况的百分比

通过无关法则观察公式，我们不必知道任何细节就知道下式是正确的。由于困难与情况的名称总是相互独立的，所以我们可以得到：

$$f(S, R) = D = f(R, S)$$

这个函数公式说明交换独立变量的位置不会改变函数值——除非公式本身有错误。用函数符号表示，可以省去前面章节中说明此观点时繁杂的讨论和数值例子。

函数符号可以用来表示一个模型所包含的观察范围的扩大。在第 3 章温度计的例子中，第一个模型表明：

$$T = f(W)$$

其中：

T=温度计上显示的温度

W=水温

第二个模型考虑到读刻度时温度会略微上涨：

$$T = f(W, I, t)$$

其中：

I=初始空气温度

t=浸入的时间(小写 t 总是用来表示时间)。

最后一个模型表示为：

$$T = f(W, I, t, D)$$

其中：

D=描述水银和玻璃之间差别的变量

为了对模型进一步改进，可以将 D 表示成其他量的函数，形式跟前面所说的相同。既使我们对 D 的有关的那些量一无所知，仍然可以用函数符号表示，用以说明我们打算在这方面继续深入研究——如果我们有时间。例如，可以写成：

$$D = g(\cdots)$$

这可以明确我们的意图，提醒我们回过头来研究这个问题。

如：

$$T = f(W, I, t, D)$$

的表示中，我们默认为"独立变量"(括号中的符号)是可以直接观察的。函数符号中的独立变量的"独立"并不是说它不依赖于其他任何因素。相反，独立变量意味着，对于当前的讨论，我们对进一步研究它的函数关系不感兴趣。

如果我们想更深一步研究变量的函数关系，可以将两个或更多的函数**复合**在一起，比如：

$$T = f[W, I, t, g(\cdots)]$$

这样表示含义明确，而且表达简明。

作为复合函数的例子，我们可以考虑观察者的支配关系。如果观察者 B 优于观察者 A，A 所能观察到的一切都可以通过相应的 B 的观察进行预测。换句话说：

$$A = f(B)$$

因为 A 仅由 B 决定。符号：

$$B = g(A, \cdots)$$

或者：

$$B = g(A, ?)$$

说明 B 的部分观测信息可以从 A 的观测结果中推导出来，由于可能还有其他的决定因素，所以 A 不能支配 B。

如果有三个观察者：

$$A = f(B)$$

$$B = f(C)$$

通过复合，可以表示为：

$$A = f(g(C))$$

这样我们可以推断出存在另外的函数 h，使得：

$$A = h(C)$$

换句话说，如果 A 仅由 B 决定，而且 B 仅由 C 决定，那么 A 仅由 C 决定，尽管我们可能并不知道这些函数关系的确切表示。因此，我们可以断定 C 同样支配 A。

由于科学总是用一种现象的术语来“解释”另一种现象，所以函数分解的概念很有诱惑力。如果最初的函数是：

$$z = f(x, y)$$

用 x 和 y 来表示不满足我们的要求，于是可以依次将它们分解成其他形式：

$$x = g(a, b, c)$$

$$y = h(c, d)$$

那么，如何做呢？科学家做这种分解时，会不会出错呢？一般错误有两种情况：

1. 在某一阶段，可以从函数关系中忽略掉一些东西，比如：

$$z = f(x, y)$$

而实际上应该是：

$$z = f(x, y, \cdots)$$

进一步的分解就会因此而出错，尽管可能得到很好的近似结果。我们称之为不完全错误。

2. 即使观察是完全的，分解过程最终也会进行不下去，要么因为观察能力的有限——包括观察者有限的耐心，要么因为"实际"情况不允许继续分解下去。分解在深度上的受到限制最终导致一种观察"互补"的状态。

这两种错误来源会在本章的其余部分讨论。

不完全与过于完全

物理研究上的所有成功，都依赖于对观察对象的明智选择。这种选择，一方面是根据对象的重要程度，另一方面则是根据我们对对象特征的主观提取。有些特征尽管颇具吸引力，但当前的科学还无力处理，就只好暂时舍弃。

詹姆斯·C. 麦克斯韦[8] (James C. Maxwell)

如果我们从

$$T = f(a)$$

中略去一些东西，那么，就无法在保证逻辑正确的前提下继续进行分解，这就出现了不完全性的谬误。对于

$$T = f(a)$$

来说，不完全是什么含义呢？显然，上式的含义与 a 和 T 之间的函数没有关系，因为我们还没有谈及函数的内容，而只是说 T 以某种方式依赖于 a。函数关系

$$T = f(a)$$

可以表示方程：

$$T = a$$

或者：

$$T = a + 1$$

或者：

$$T = \frac{2}{a+1}$$



或者：

$$T = 1 + a^7 - 3a^9 + 9^{-2a}$$

或者……，实际上，有无数多个含 a 的方程。用函数符号，这无数种情况就可以写成一个元素了。

如果说一种函数关系是“错”的，那就意味着“真正的”方程没有包含在该集合里，这也是有可能出现的。要么是因为 T 不依赖于 a ——过于完全，要么是因为除了 a、T 还依赖于其他变量——不完全。做出这种论断的依据是什么呢？因为所能观察的只有 T 和 a 的行为。

原因是这样的。如果我们观察到了一个 a 的值和相应的 T 的值，比如：

$$a = 7.5 \quad T = 10$$

又经过很多次的观察，再次得到：

$$a = 7.5 \quad T = 10$$

很显然这与

$$T = f(a)$$

是相符的。但是如果接下来我们又观察到与之不符的情况，如：

$$a = 7.5 \quad T = 25$$

这说明，除了 a，T 还依赖于其他的未被观察到的变量，或者在测量 a 和 T 时出了错。因此，我们可以将观察范围扩展为：

$$T = f(a, \cdots)$$

或者改进对于 a 值的测量，或者直接将该测量值作为错误值丢掉。至于选择哪种方案，首先要看

$$T = f(a)$$

的可信程度；其次，要看当前的科学是否足够先进，以至于可以提高 a 的测量。

与之相对的是过于完全。可能 T 根本不依赖于 a。开始怀疑这一点是因为我们观察得到一系列如下结果：

$$a = 0 \qquad T = 10$$

$$a = 7.5 \qquad T = 10$$

$$a = -578 \qquad T = 10$$

$$a = 0.0003 \qquad T = 10$$

如果无论 a 的值如何改变，T 都不变，那么我们就没有必要浪费时间来观察

a 的值了。

总而言之，T 一定依赖于**某些变量**。否则，就没有必要观察 T 的值了，好像鱼儿不再观察水一样。如果设想：

$$T = f(a,b,c)$$

而且观察到：

$$a = 0 \quad b = 3 \quad c = 8 \quad T = 10$$
$$a = 4 \quad b = 3 \quad c = 12 \quad T = 10$$
$$a = -4 \quad b = 1 \quad c = 12 \quad T = 10$$

问题就复杂多了。T 不改变是因为

$$T = f(b,c)$$

还是因为

$$T = f(a,b,c)$$

在我们的观察范围内，某些因素相互"抵消"了？

哪种说法正确呢？哪个可以"解释"观察结果呢？对于任何有限的**观察结果**，**解释集合**都是无限的。如图 4-11 给出了两种关于那三个 T 的观察结果的解释公式。一个包含 a，另一个不含，哪个更好呢？通过已有的观察结果是区分不出来的，所以需要我们来选择。这是一个黑箱问题。我们不能通过观察"内部"来辨别哪种结构是"正确"的，即使只是想区分

$$T = f(a,b,c)$$

和

$$T = f(b,c)$$

			模型 1	模型 2
			$T=f(a,b,c)$	$T=f(b,c)$
a	b	c	$T=\frac{(c-a)}{2}+2b$	$T=(c-10)^2+6(b-2)^2$
0	3	8	10	10
4	3	12	10	10
−4	1	12	10	10

图 4-11　解释同一观察结果的两种可能的"模型"

这种选择只能由我们自己来做，这取决于我们自己的计算能力。如果可以轻易地扩大观察范围，但是头脑的计算能力很有限，那么我们就选择

$$T = f(a,b,c)$$

因为这个公式比较“简单”。反之，如果我们有很强的计算能力，但是观察能力不强，那么，就选择

$$T = f(b,c)$$

以便我们可以更多的思考，更少的观察。但是，只要我们局限于这个观察的集合，我们就不能判断哪一个说法“正确”——这是黑箱游戏的基本规则。

我们来看看怎样把以上讨论用于音乐盒状态序列的观察结果。定义超级观察者所能观察到的状态集合为 S，观察者在 t 时刻观察到的状态为 S_t（读做“S-下标-t”），所观察到的状态的决定关系可由以下函数式表示：

$$S_{t+1} = f(S_t)$$

也就是说，$(t+1)$时刻的状态完全由前一时刻 t 决定。这一关系式可以读成：

“S-下标-t 加 1 等于 fS-下标-t”

或者

“S-下标-t 加 1 完全取决于 S-下标-t”

这就是用函数方法来表示状态可确定的性质。

其他的观察者——那个物理学者和发明者——又会怎样呢？如果分别定义他们的观察集合为 P 和 V，由于他们的观察不是状态确定的，所以我们得到

$$P_{t+1} = g(P_t, \cdots)$$

和

$$V_{t+1} = h(V_t, \cdots)$$

对于发明者，已知他的行为如图 4-5 所示，要想使他的观察可确定，那么需要在他对状态的定义中增加灯光的因素，否则他需要观察相连的两个状态：

$$V_{t+1} = h(V_t, V_{t-1})$$

至于那个物理学者，由于耳朵有点背，不能区分某些状态——除非他发明一种声音检测装置来弥补这一点。但是，他同样可以通过历史状态获得确定的特性：

$$P_{t+1} = g(P_t, P_{t-1}, P_{t-2})$$

由于我们是站在超级观察者的角度看问题的，所以我们总是让其他的观察者扩大或缩小观察范围，或是增强记忆能力，但是，实际上**他们**并不具备做出这些选择的信息。

由于黑箱所描述的状态是我们已经观察到所有可观察的东西，所以观察结果本身也没有一个简单的基准使我们能选择一个更好的观察方法来观察这个黑箱。根据黑箱的特征可以看出，我们的观察是**不完全**的，从这个意义上来说，它并不是状态确定的。然而，由于没有一种完全的观察方法，所以我们认为这是状态确定的。我们所需要做的只是观察，因此发明者和物理学者面临着如何选择视角的问题，正如图 4-11 中我们要在模型 1 和模型 2(或者其他符合观测数据的无数种可能的模型)之间做出选择。

当我们有两个符合所有观测数据的模型时，我们说这两个模型**同构**，也就是说，有“**相同的形状**”。数学上，这两个模型必须符合**所有**可能的数据，实际上，我们使用模型时更受限制了——只要符合所有**观察到的**数据即可。已知某种水平的观察知识，那么，从**逻辑**上说，最好的办法是找出一套符合观察数据的模型集合，所有的模型都是同构的。

对于黑箱观察，一旦没有新的观察结果出现，那么就无法解决同构的问题，也无法在模型的集合中做出选择。如果不能打开箱子，我们就不知道里面到底是齿轮、电路、还是一只受过训练的猴子在摇动摇把。

然而“打开箱子”意味着更进一步的分解。于是，在观察的某个特定水平上，在同构的模型中做出选择只能由我们自己来做。在图 4-11 中，我们可以选择模型

$$T = f(b,c)$$

或者选

$$T = f(a,b,c)$$

而且，实际上，我们还可以得出

$$T = f(a,b)$$

或者

$$T = f(a,c)$$

甚至

$$T = f(a,b,c,d)$$

我们可能会选择



$$T = f(a, c)$$

因为我们很难观察到 b 的值。那个物理学者可能会选择

$$P_{t+1} = g(P_t, P_{t-1}, P_{t-2})$$

因为他听力不好，但是记忆力很好。当然，我们也可能会选择

$$T = f(a, b, c)$$

因为我们没有注意到

$$T = f(a, c)$$

已经可以满足要求；也许是因为我们虽然注意到了，但是对那个公式不满意；也许是因为我们是物理学者，知道“物理系统不会有那样的特性”；也许是因为我们是心理学家，知道“人们不会那样做”；也许是因为我们顽固地认为：“无论如何，b 都是不可缺少的因素”。

所有这些选择的任意性保证了不同的观察者都有许多描述他们观察结果的方法。选择问题涉及的不仅仅是选择哪种同构型，还包括选择“哪些观察是基本的”。如果在函数形式这个问题上我们都不能达成一致，那么就无法保证分解的正确性了。显然，麦克斯韦所说的“明智的选择”和“头脑中的随意抽象”是很值得研究的，我们将在后面的章节里介绍。现在，我们先考虑导致分解出错的第二个原因——观察的互补性。

广义互补性原理

> 在经典物理学中，对于一个给定的物体，从理论上说，它的所有特性可以通过一个实验方案确定，尽管实际上各式各样的方案通常不易实现……然而，在量子物理学中，对于原子，通过不同实验方案得到的证据，则显示了另一种互补关系……
>
> **尼尔斯·玻尔[9]（Neils Bohr）**

我们刚刚看到由于不完全性造成分解策略的失败。实际上，回过头来想想，可以把它看成完整性的直观定义。也就是说，无论采用哪种方法从同构型中选择，或是将视角分成多个改进的视角，从本质上看，都不会有新发现。我们会发现完整性只能是一个近似的概念——由于它基于归纳假设，因此不能保证其精确性。

由不完全引起的分解错误是可以接受的，因为我们都曾以某种形式经历过。我们可能认为

课程成绩 = f(考试成绩，参与讨论的情况)

但是，却发现

课程成绩 = f(考试成绩，不同意教授意见，上课坐在前排)

后来，又发现

课程成绩 = f(考试成绩，不同意教授意见，上课坐在前排，以前的名声)

然而，导致分解失败的第二个原因——互补性，可能更令人难以接受。物理学家首先遇到这个问题，它是恰当而且可确定的，因为物理学正在需要运用分解的阶段。另外一些科学家或准科学家们通常远不能了解**所有的情况**，所以对于他们来说，**分解**出错没什么奇怪的。如果物理学没有提出"互补性"——分解的重要模型，那么这一概念很可能**不会**被人们接受。

互补性问题是在亚原子级上提出来的，那是物理学家们可以分解的最后一级。为了避免涉及物理学的细节知识，我们将在一个更宏观，大家更熟悉的层次上讨论。设想我们做一个关于交通安全的调查，以便研究汽车在开出收费站时的加速情况。我们需要知道每辆车的精确**位置**和**速度**。

现在假设我们安装了一架自动照相机来拍摄每一辆车，然后根据这个观测结果，我们要确定车的位置和速度。确定精确的位置可能会有点儿问题，因为照相机拍摄运动的车辆时会比较模糊。因此，我们把快门速度调到最快——用来"停止运动"，这样我们可以得到一幅清晰的照片，当然可以精确地确定车的位置了。

但是，我们怎样根据静止的照片来确定速度呢？可以通过观察喷出尾气的长度来确定，但是并非所有的车都有这样的装置。所以最可行的做法是从照片的模糊程度上判断，因为车速越快，照片就会越模糊。

实际上，可以通过测量重影的长度，然后除以曝光时间，就得到了速度，即在某个特定时间间隔内车辆行使的距离。不过需要注意的是这种方法的**互补性**本质。为了精确测量速度，我们希望模糊的重影越长越好；但是，与此相反，为了精确地测量位置，又要求重影尽可能短。因此，无论怎样选择快门速度，都是一种折中方案，不同的观察者会设置不同的快门速度，这样就会得到不同的——或者说互补的——照片。

我们总是想通过更精确的测量来摆脱这种互补性，也就是说，进一步分

解。比如，我们可以选用曝光系数更高一些的胶卷，以便对于较短的重影也可以精确的测量。但是，如果胶卷的曝光系数已经达到了极限，既然没有回旋的余地，我们也就只好满足于互补的观点了。换句话说，如果胶卷曝光系数有极限，那么互补性就必然存在。当然，关于观察极限是否存在就是另一个话题了。

这个问题在物理学领域中争论了50年，直到现在才在其他的领域中引起人们的注意。物理学中该原理依赖于量子能量的不可分性。如果认为能量不可以无限分割，那么，在我们的研究范围内，观察的分解（或归约）就是不可能的。对于物理学家来说，任何一个观察都伴随着从被观察者到观察者的能量转换。因此：

> ……只有当测量工具和目标之间互相牵制形成复合现象时，互补性的概念才用来说明此问题。[10]

换一个角度来看，互补性是不能得到全部信息的一种特殊情况。观察者可能会观察到这一点。

$$z = f(x, y)$$

但是，由于观察本身的内在影响，他也只能得到

$$z = f(x, y, \text{观察者})$$

不过一般来说，上面的结果还是成立的，在大多数情况下观察所涉及的能量很小，可以忽略。在前面的停车收费实验中，光能必须从汽车转换到胶卷中，但是由于光的量很少，由此引起的观察误差不会给交通专员带来麻烦。即使是最亮的闪光灯，其能量也不足以使汽车加速或减速，顶多它会使司机看不到路，从而引起车祸。

生物学中，很难避免观察者与被观察者之间采用未知的方式交互。当研究其他星球上的生物时，我们必须确保火箭既没有把地球上的生物带上该星球，也没有毁坏该星球上的生物。哪怕火箭上带了一个单细胞生物，也可能给该星球的生态系统带来毁灭性的灾难——就像无数的科幻故事里面所描述的那样。

社会科学中也一样，观察者与被观察者之间以不可知的方式交互。人类学家由于他采用的是一种参与性的观察，所以一定会对所观察的事物产生影响。有人打趣说：祖尼家族的核心是由一个父亲，一个母亲，两个孩子

和一个人类学家组成的。

然而，对于互补性这一广泛的概念来说，观察者和被观察对象之间的交互实在是太片面了。根据广义热力学定律我们知道，对于展现同样的现象，会有许多精神因素的影响。在人类学中，有一个经典的例子，罗伯特·雷德费尔德[11]和奥斯卡·刘易斯[12]观察同一个墨西哥村庄后代的分离情况。他们观点上的巨大分歧几乎不能用那段时间里发生的变化来解释，所以我们不考虑他们在观察过程中对村庄生活造成的影响。这样我们就可以认为，两个社会学家站在相同的角度上观察同一场景，就像前面的例子中发明者和物理学者观察音乐盒那样。

实际上，发明者和那位朋友的看法是互补的。尽管他们的观察是基于相同的情况，任何一个都不能分解成另一个；但他们的看法也不是完全独立的，因为在某些情况下可以从一个状况推导出另一个状况。关于互补性的主要元素是：两个不完全独立，但又相互不可约的观点。

然而，物理学家只考虑严格的互补性。他所说的互补性，一定要涉及"测量仪器和被测物体之间的交互"，因为如果缺少这些交互，就不可能继续进行归约；并非任何一种交互都会导致互补性——必须要形成"现象的综合部分"，意思是说，这种交互是无法通过改进已知的实验方法来避免的。如果物理学家不能得到曝光系数更高的胶卷，他们可以通过雷达观察从收费站开出的车辆。

对于物理学家来说，胶卷技术只是他可利用的"各种实验方法"之一。物理学家并不会偷懒——如果一个试验会导致互补，而采用另外一个麻烦些的方法可以避免互补，那么他们会放弃原来的方法。可能会挑选曝光系数更高的胶卷；或者放弃使用照相机而采用雷达；再或者放弃雷达而采用激光。他们从来不会为了"方便"而放弃寻求更好的方法。除了"自然法则"——一个综合的物理交互——没什么能使他们放弃对圣杯的要求。毫无疑问，这样的人是很难接受互补性的。

这种互补性可以称为"绝对互补性"，因为它要求观察必须受到根本的、综合的限制，除此之外，别无选择。一般系统论观点是建立在简单假设的基础之上的，因此是普遍适用的。如果由于某种原因，观察者没有对观察进行无限的改进，那么任何两种观点之间都会存在互补关系。因为几乎在所有情况下，总能找到某种理由，使得我们不再无限的改进观察方法，这样去掉



条件，我们可以总结出广义互补定律：

> **任何两种观点都是互补的。**

关于这个定律，惟一例外的情况是物理学家最精确的观察。但是，如果他们承认即使是最精确的观察也一定存在互补性，那么我们就没有例外了。

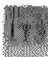
然而，我们应该注意到，观察者并非总是介意他们的视角是否是互补的，这就另当别论了。我们并不都像理想的物理学家那么疯狂。经济学家和社会学家研究同一个社会时，自然会得到不同的看法，当然，他们之间也会有一些共同点。每个不太精确的观察总会包含某种“除此之外”还有什么的信息，但这是从不会有完整的答案的。两个经济学家，由于他们为同样的工作、占据日志中相同的位置、相同的政治影响而竞争，所以，自然他们就更关心他们观点间的互补性。当一个经济学家要指出另一个经济学家论点的谬误时，他会忽略社会学家的观点，因为他**知道**他们所讨论的是“不同的问题”。

在理论上，对于经济学家不会长期持有互补观点的问题，是没有必要改进观察方法的。当然，我们可以与他好好争论一番。但是，有什么意思呢？经济学数据显然不足以消除互补性。[13]

但是，假设我们可以消除互补性，我们愿意这么做吗？仅仅由于我们向着一种理想的情况努力，这并不意味着我们一定要实现它。作为超级观察者时，我们可能不会注意到音乐盒美妙的丁冬声。

归约只不过是理解的众多方法中的一种。一旦我们停止对世界的某一小部分进行不断逼近的观察，那么就会发现归约是现实中无法实现的一种理想状态。归约只是一种科学信仰。一定要把它看做一种信仰，因为从未有人看到过任何观察集合的最终归约状态。我们可能会嘲笑那些“非科学”的白痴以及他们对宇宙的诗一般的解释，但实际上，我们跟他们一样不知道为什么我们的方法可行。

我们已经看到在一些情况下归约是可行的；但另一方面，我们必须承认，在某些情况下，其他的方法也同样能奏效。由于我们是科学家，所以我们相信我们的方法的适用面会更广，但这并没有严格的科学证据——这只是一种信仰。做实验时，我们的方法总是奏效，但是必须承认的是，一旦该方法对某种情况不适用，我们就会放弃它。



归约的方法总是在可以归约的情况下奏效。当归约不可行时，我们或是承认失败，然后继续尝试；或是认为这种情况是“不存在”或“不重要”的。如果不是狂热地相信我们的信仰，那么就应该来面对它，也早就应该接受互补性的概念。也许我们被这种已建立起来的信仰束缚了很久，但是科学本身已经建立起来了，而且需要进一步的修正。

托马斯·布莱克波恩[14]曾经指出从互补的观点看来，科学是不能够接受“真理”的——这就是所谓的“不成型”的科学。他的结论同样可以作为本章我们论述黑箱存在性的结论：

> 如果科学实践继续向现在片面的、不成型的方向发展，新的科学家也只会从那些认为这种世界观是协调的人中产生。然而，从气质和所受的训练来看，这些人并不适合坚持我们所要求的互补性真理。实际上，可能有人会怀疑，是否即使是不成型的科学也可以被那些缺乏想像力、同情心和人性的人们维持。尼尔·玻尔关于人类知识整体的观点在半个世纪后才得到瓦特·惠特曼的回应：
>
> “我坚信世界对于那些认为它完整的人们来说是完整的，对于那些认为它不完整的人来说是不完整的。”

参考读物

推荐阅读

1. John R. Dixon and Alden H. Emery, Jr. “Semantics, Operationalism, and the Molecular-Statistical Model in Thermodynamics.” *American, Scientist*, 53, 428 (1965).
2. Thomas R. Blackburn, “Sensuous-Intellectual Complementarity in Science.” *Science*, 172, 1003 (4 June 1971).

建议阅读

1. Lewis Carroll, *The Annotated Alice* (*Alice in Wonderland and Through the Looking Glass*), Martin Gardner, Ed. Cleveland: World, 1960 (also in paper).



2. R. L. Gregory, Eye and Brain. New York: McGraw-Hill, 1966.

符号练习与答案

符号练习

1. 说明图 4 6 和图 4 7 中你的朋友——物理学者的视角是如何获得的。
2. 已知序列

$$O\ T\ T\ F\ F\ O\ T\ T\ F\ F\ O\ T\ T\ F\ F\ O\cdots\cdots$$

写出三种缩写形式：

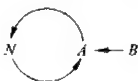
a. 有序对

b. 映射

c. 有向图

状态是可确定的吗？如果把一对状态当做一个状态，那么状态是否可确定？

3. 写出有向图特性如下的系统的前六个状态——从 B 开始：



4. 设想你在读一本关于农场经济的书时，看到如下叙述：

> 当从草场到村庄的行驶时间减少时，把运输完所有干草所需要出的努力似乎也会减少。另一方面，年长的农夫总是比年轻的考虑的更周到，其他事情也一样——或许是因为那时的运输比现在要慢得多。

将以上这段话归纳成一般函数表示式，变量包括"运输……需要的努力"

5. 设想你继续读下去，看到另一段话：

> 随着现代化的拖拉机的使用，道路质量的提高，以及草场与村庄距离的减小，行驶时间减少了。然而，对于现代化的公路，交通问题就要纳入考虑之中，所以行使时间显然依赖于一天中的不同时段。

说明这一改进的观点应如何加入练习 4 的函数模型中。

6. 设想我们在看一个关于生物系统的非技术性描述时，忽然看到一个公式：

$$y = \frac{be^{-at}}{\sqrt{1-b^2e^{-2at}}}$$

当你失望得打算放弃时，忽然决定，也许换个角度，可以更简单的理解作者所描述的内容，不考虑确切的公式，仅仅考虑参数 y 所依赖的函数关系。请把上式抽象成这种函数表示式。

7. 某个系统的状态集合记为 S，任意时刻 t 的状态记为 S_t。第 17 个状态应该如何表示？j 时刻后的第 5 个状态呢？系统当前状态不依赖于前一个状态，而仅依赖于倒数第二个状态，应该如何表示？

符号练习答案

1. 首先，图 4-6 是从图 4-1 得到的，前提是：

   a. 由于物理学家不考虑绿灯，所以忽略 G 列

   b. 由于他分辨不出(1,2)，(3,4)，(5,6)对的音调差别，所以将它们合并

   c. 6 组状态集分别命名为 S,T,U,V,W,X。

   然后根据这张表，转换图 4-3 所示的有向图，用他的状态名替换你的。这样，你所说的状态 a 就换成了他所说的状态 S，于是循环

   $$a\ n\ i\ k\ a\ n\ i\ k$$

   就转换成

   $$S\ T\ U\ W\ S\ T\ U\ W$$

   另外两个循环也同样处理。

2. 如图 4-12。显然该系统不是状态可确定的，因为对于 T 和 F 来说，映射不是多对一的，而是一对多的。根据如下映射，可以将其转换成状态可确定的。

   (O,T)　(T,T)　(T,F)　(F,F)　(F,O)

   (T,T)　(T,F)　(F,F)　(F,O)　(O,T)

   这样就转换成多对一的形式，实际上是一对一的。

a. 有序对

(O,T)　(T,T)　(T,F)　(F,F)　(F,O)

b. 映射

O	T	F
T	T? F?	F? O?

c. 有向图

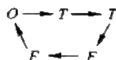


图 4-12　习题 2 答案

3. $BANANA\cdots\cdots$

    请注意这个有向图精确的描述了一个“知道如何拼写‘banana’但不知道如何停止”的系统。

4. $e=f(t,a)$

    其中

    e=运输完所有干草所需的努力

    t=从草场到村庄的行驶时间

    a=农夫的年龄

5. $e=f(t,a)$

    $t=t(m,r,d,T)$

    其中

    m=所用拖拉机的先进程度

    r=道路质量

    d=运输距离

    T=一天中的时段

    同样，我们可以写成

    $$e = f(t(m,r,d,T),a)$$

    或者

    $$e = f(a,m,r,d,T)$$

6. $y=f(a,b,c,e,t)$

    不过，在许多数学公式里，e 通常用来表示某个常数（近似为 2.7）。如果我们把 e 当做常数，那么，函数关系就可以重新写成

    $$y = f(a,b,c,t)$$

    但实际上 e 只是一个数学符号，像平方根、除号或减号一样。有一件事情困扰着非数学家们，那就是，在某个特定的公式里面，这些标准符号可能是也可能不是按照标准的方法使用的。通常需要根据上下文判断 e 是数学常数还是关系式中表示某个因子的特定符号。由于符号定义不够明确，在某些情况下，往往很难做出判断。

7. 17 个状态可以写成 S_{17}，j 时刻后的第 5 个状态可以写成 S_{j-5}。依赖于倒数第二个状态的函数关系可以表示成：

    $$S_t = f(S_{t-2})$$

    或者

    $$S_{t+2} = f(S_t)$$

思考题

1. 妇女解放

詹姆斯·罗伊(James Loy)在对瑞斯和卓莉的书评[35]中有如下评论：

> 这本书的主题——大多数灵长类动物的社会结构都是以雄性为主的，对于生活在雄性总是比雌性的身材高大而且特征显著的物种之中的学生来说，这一点并不陌生。成年男性的任何一个动作都会立刻进入观察者的眼中。然而，当前的问题是，其他组的成员和观察者是否也会注意雌性的行为。

用我们的话来说，那些观察者获得的复合状态太随意了——如果罗伊的评论是正确的。人类社会也是有首领的群体，成年男性通常比群体中的其他成员要高大——而且有可能由于某种原因而更显眼，像某些鸟一样。讨论采用这种方法对人类社会观察，可能出现的偏见，确定观察的方针，以便克服这种在观察人类或其他两性动物时存在的偏见。

参见：Michael R. A. Chance and Clifford J. Jolly, *Social Groups of Monkeys, Apes and Men*. New York: Dutton, 1970.

2. 进化的哲学

“二战”期间，一个驻扎在太平洋的一个小岛上的士兵以捕鲨鱼为“乐”。有人问他，只拿一根长矛形状的铁棍跟在鲨鱼后面时是不是一点都不害怕。他解释道：“有什么好害怕的？鲨鱼是愚蠢的，而我是聪明的。它们的反应总是一种方式——所以从来不会令我吃惊。”

关于“更高等”的生命形式，我们总是有一种强烈的直觉理所当然地认为，人是最高级的生物，人类社会也是最高的文明形式。哲学的一个用途就是给出这种直觉概念的“证明”，而一般系统运动作为哲学的一个分支正是要处理这一问题。例如，V. L. 克莱曼斯基就持有与该捕鲨鱼者相似的观点，他指出，如果一种生物比另一种生物具有更广泛的特性——观察或行为，则它更“高级”。按照本章的方法讨论克莱曼斯基的概念。

参见：V. I. Kremyanskiy, "Certain Peculiarities of Organism as a 'System' from the Point of View of Physics, Cybernetics, and Biology." *In Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*. Walter Buckley, Ed., pp. 76-80. Chicago: Aldine, 1968.

3. 考古学

考古学上对过去的重建为忽略与当前理论不符的信息提供了许多机会。在最高的层次上，需要精确地选择地区。至于在该地区内，具体选择哪个位置挖掘是有理论依据的，这样，未被挖掘的区域将留作以后理论的基础。如果根本不打算看到任何东西，那么挖掘是最简单不过的了。

宾福特举出了一个关于在南伊利诺伊的挖掘地点的例子，由于研究者仅仅注意到那里有大量的碎陶器，而没有发现那里是早期房屋的遗址。我们可以设想一下，如果未来的考古学家挖掘出我们现在的城市，他会在瓶子碎片密集的地方发现多少房屋。

讨论将来各式各样的观察者会如何看待我们现在的社会。

参见：L. R. Binford, "Archaeology as Anthropology." *American Antiquity*, 28, 217 (1962).

4. 微气象学

如果一种现象足够罕见，而且对于我们来说算是奇观，那么科学家总是有办法避免对它进行研究。作为一名科学家，你如何看待对具有下列特征现象的报道?

(1) 漂浮在空气中的物体，但是看不到任何支撑物。

(2) 有时发出紫红色的光，有时是蓝白光，有时是金黄色光。

(3) 一碰就会死掉，但它穿过窗户时却不会打碎玻璃。

(4) 在爆炸和耀眼的强光中消失，只留下一股烧焦的火药味和地板上的一个白点。

对以上内容有了一些概念后，可以查阅：

James Powell and David Finkelstein, "Ball Lightning." *American Scientist*, 58, 3 (May—June 1970).

然后讨论为什么很多年以来球状闪电的存在一直都被否认，而后来，也只是被看做相对于"通常"的闪电来说，是一种罕见的情况。

5. 物理学

针对下列看上去对物理学有所贬低的论述进行讨论：

> 物理学定律没有办法判断一个箱子里面放的是两只雌性兔子，还是一雌一雄。
>
> 根据物理学定律，熊蜂是不能飞翔的。

6. 生物学和化学

随着分子生物学上的成功，逐渐展开了关于"所有"的生物问题是否都可以归到化学范畴的争论。值得一提的是，认为生物学不可归为化学的 W. M. 艾尔萨瑟，指出分子的、化学的和生物的观点是互补的，因为：

> 如果通过足够精密的测量，可以获得系统在任何给定时刻的微观状态，那么实际上我们将会发现那些由于干扰产生的状态（比如，打破化学键），却非常重要，因为系统接下来的特性与以前将大不相同；不再是与前面相同的动态系统……由于我们过于精确的测量，扼杀了生物学。[18]

考虑以上问题，以及它们与物理学的互补关系问题。

参见：Walter M. Elsasser, *Atom and Organism*. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1966.

7. 哲学和生物

考虑下面这段话，尤其是注意"实际不可归约性"、"逻辑上不严密"和"方法上的原因"这些词的使用：

> 于是，一般性的结论是，鉴于当前生物学的发展现状，可能会有很多启发性的理由，要求停止在各种可能的领域内用物理化学解释生物现象；也有很多充分的理由，要求建立专业的生物学理论。然而，由于方法上的原因，这个论题支持不可归约性理论。在最近的分子生物学文献中，任何把该论题扭曲成实际不可归约性的论调，在逻辑上都是不严密的，实际中无保证的，而且毫无启发作用。

参见：Kenneth F. Schaffner, "Antireductionism and Molecular Biology," *Science*, 157 (11 August 1967).

8. 语言训练

从某种程度上来说，对互补性的怀疑是来自许多科学家关于学习外语的态度。他们会问："要是所有有价值的结果都被翻译成英语。"换句话说，任何能够用俄语表述的内容都可以用英语确切地表述。而且，从这个角度看，学习俄语或是其他语言，对于思维毫无用处。

讨论语言学习在科学教育中的潜在作用，以及如果取消科学研究中所有对语言的要求，将会有什么后果。

9. 天气观测

> 尽管自中世纪以来，云彩的形状就并未改变过，但是我们却没有从中看到过神奇的剑或者不可思议的十字架。著名的阿姆罗伊斯·派尔看到的彗星尾巴恐怕与我们现在偶尔能看到的彗星也没什么区别。然而，他认为他看到的是一套神奇的盔甲。广泛的先入之见的影响超过了他经常性的精确观察所见；而且他的论述，与其他论述一样，告诉我们的并不是他实际见到的东西，而是他想当然地认为应该看到的东西。

走到一个广阔的空地——如果还能够找到的话——躺在地上，凝视一个小时左右云彩。记录下来你所看到的一切，然后分析那些记录看看是否能够发现那些左右你视角的影响因素。

参见：Marc Bloch，*The Historian's Craft*，pp. 106-107. New York：Vintage Books，1953.

第5章 观察结果的分解

黑兹尔对印第安纳州人的执著一向被世人作为教科书中狼狈为奸的教材。因为从上帝的角度来看，这样的结合是毫无意义的，伯克努称之为**松散组织**。

伯克努倡导我们与他一同高歌：

如果你想要研究**松散组织**，

只需剥掉玩具气球的皮。

库尔特·沃纳格特[1](Kurt Vonnegut,Jr.)

据说，有人曾经要求以画竹闻名的画家Okubo Shibutsu(おくぼしぶつ)画一幅竹林的画，他同意了。于是，Shibutsu运用各种技巧，画了一幅红色的竹林。赞助商收到作品后，惊叹于那些运用的高超的技巧，前往画家的住处拜访时，他问到："先生，我来是感谢您的作品的，不过，我想问一下，你画的竹子是红色的。""噢，"画家大声喊道，"那你想要什么颜色的呢？""当然是黑色的。"赞助商回答说。"那又有谁见过长黑色叶子的竹子呢？"画家反问道。

亨利·P.博伊[2](Henry P. Bowie)

我们坐在圆桌旁开始画画。我只有一支蓝色的画笔，不过，我还是用它来描绘一幅狩猎的画面。我先栩栩如生地画了一个蓝色的男孩骑在一匹蓝色的马背上，还有一群蓝色的狗。之后，我拿不准是否该画一只蓝色的野兔，于是就跑去问爸爸的意见，他这时正在看书，对我问的

问题“有没有蓝色的野兔?”他头也没抬地回答说,“是的,亲爱的,当然有。”我转身回到圆桌旁开始画蓝色的野兔……

利奥·托尔斯泰[3](Leo Tolstoy)

本章我们要讨论的是,观察者有限的思维如何影响他们所做的观察。这个问题本来就复杂,有时还会变得更加复杂,因为心理学家总是不承认人类有限的能力,尤其是思维的有限。很多人能够勉强接受人类无法通过挥动胳膊飞上天空的事实,但知识分子们很少承认智力上的有限。

“人类的大脑具有无限的能力”禁锢了人们的思想,以至于每当我们提出“设想人脑是有限的……”这样的说法时,即使是最冷静的读者也会变脸色。然而,人的智力中看起来惟一无限的能力恰巧就是人们愚弄自己的能力——尤其是关于人脑无限的问题。

思维的有限并不意味着有些事情我们永远不能了解。承认自己的思维有限,也就会承认这种有限性的表现之一就是不能确切地说出是什么样的限制。但是这并不影响我们研究由于思维有限可能带来的后果。应该根据思维有限的思想,进行“如果……那么……”的游戏。

更具体一些,让我们设想那个疯狂的发明家邀请我们回去看看最新型的爱德华音乐盒,这是为一个玻璃人①特制的。他让你一个人在房间里欣赏他的杰作,你发现似乎潜在的状态与以前是一样的:

$$S=(R,G,W)$$

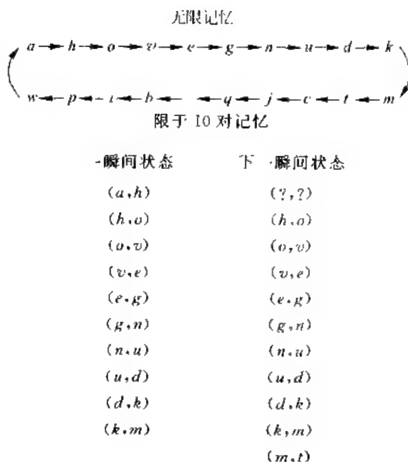
在图 4-1 中已经对字母从 a 到 x 做了定义。

现在假设发明者还给你留下了一瓶“十星白兰地”,喝了几口后,你平时能力无限的头脑开始变得有些混乱。假如你还没有醉倒,你将会发现一个由 20 个状态组成的循环,如图 5-1 上部所示。

白兰地标签上的“十星”表示了这种酒的烈性,也就是限制了你只能记住 10 对状态。受这种烈性酒的影响,你根本看不出这样的循环,因为你不能记住足够多的状态。这样,你看到的是一个酒后混乱的系统,而不是一个状态可确定的行为,因为每个状态的到来对于你来说都是未知的。

---

① Humpty Dumpty 西方童谣中的人物,从墙上掉下来被摔碎,指一经损坏无法修复的东西,在本章中,暗喻音乐盒只能从外部观察而不能拆开观察内部构造。



一瞬间状态	下一瞬间状态
(a,h)	(?,?)
(h,o)	(h,o)
(o,v)	(o,v)
(v,e)	(v,e)
(e,g)	(e,g)
(g,n)	(g,n)
(n,u)	(n,u)
(u,d)	(u,d)
(d,k)	(d,k)
(k,m)	(k,m)
	(m,t)

图 5-1　用无限和有限的记忆看不可拆分的玻璃人音乐盒

你该怎么做呢？你本不应该喝酒的，但现在已经后悔莫及了。发明者很快就会回来，如果你不能描述出音乐盒的特性，他会认为你很愚蠢。由于你很想保住超级观察者的美名，所以，你决定缩小观察范围，只对灯光进行观察。你这样做的理由是因为只有两种灯光，这样的系统就只有 4 种状态。因此，你更有可能记住灯光序列中的所有状态。

你所看到的如图 5-2 所示，只需 4 对状态就可以完全描述状态可确定的灯光特性。对于你受酒精限制的能力来说，这是可以做到的。你发现这个小系统——“子系统”的特性的状态是可确定的。而且，受到成功的鼓舞，你决定用同样的方法研究声音的特性，并且得到图 5-3 所示的结果。

你都做了些什么？由于白兰地带来的灵感——或者说需要——你找到了一种看问题的新方法。你成功地将**不可拆**的音乐盒分解成两个**独立**的部分，并且它们都是状态可确定的。那么，这样分解又有什么好处呢？本来只有一个系统，现在变成了两个。这样会不会使问题更加复杂呢？

灯光		自状态名称
R	G	名称
1	1	A
1	2	B
2	1	C
2	2	D

图　　　　对



图 5-2　灯光子系统

音调	名称
1	V
2	W
3	X
4	Y
5	Z

图　　　　对

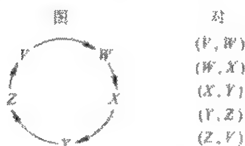


图 5-3　声音子系统

如果你拥有超级头脑，不会因为喝酒而变得麻木，那么将一个系统分成两个子系统的确会使问题更加复杂。但是，既然你有超级头脑，那么问题更复杂一些也无所谓。由于你并没有超级头脑，所以对系统做这样的分解有助于解决问题。实际上，这样你就可以把所有必须的状态对记在只能记住10对状态的脑子里，其中有1对用做进一步测量。

结论是很明显的。如果记忆力有限，那么将一个系统分解成几个互不相干的子系统能使我们更好地预测系统的行为。这是一种科学的方法，如果我们的头脑具有无限的能力，那么这种方法就不必要了。实际上，科学的存在正是人类的大脑能力有限的最好证明。

还可以进一步扩展这个进行分解的小例子，用来说明分解这一方法的作用。假设箱子在一个长循环中有180个状态。如果我们可以将它分解成一个20个状态的循环和一个9状态的循环，那么，需要记忆的状态对就从180个减少到20+9=29个。还可以按照同样的方法，进一步将20个状态的循环分解成一个5状态的循环和一个4状态的循环。这样所需的状态对就只有5+4+9=18个了，这仅是原来数目的1/10。

总之，对于一个有因子的长循环(比如180=5×4×9)来说，我们可以将状态对数目减到因子之和：5+4+9=18。现在考虑一个有10^{10}个状态的长循环。10^{10}是10个10相乘，然而10个10相加只有100，或者写成10^2。于是，如果我们可以将该系统分解成10个独立的循环，我们就减少了$10^{10}/10^2=10^8$。大多数人是可以记住100个状态对的，但是又有几个人能记住100亿个呢?

这种分解是否能一直进行下去呢？乍一想，可能会回答“不能”，不过，我们还是先来深入研究一下再做回答吧！假设这时发明者回来了，你告诉他你已经了解了音乐盒的特性。“它可以分成两个独立的循环，”你很骄傲地说。但是看起来他很不相信这一点。

“不是这样的，”他反驳道，“音乐盒只有一个长循环，否则我就把那台可以分解成几个独立循环的普通机器卖给他了。到隔壁的仓库，我给你看看。那里有144个不同的模型。非常有趣，至少我自己这样认为！”

于是你跟他进了隔壁的房间，当然那里的确摆放着144个音乐盒，个个都是有声音和灯光效果的。你的头脑现在清醒了许多，于是你记下了其中三个音乐盒的循环，如图5-4所示。但是，无论如何你都不能按照像刚才分解那个音乐盒的方式做分解(读者可以自己试试)。

“看，”你不耐烦地说，“这些循环是不能分解的。它们一定有问题。”

“你什么意思？它们当然是可以分解的。看着！”

你还是摸不着头脑，于是发明者继续解释。“看！看那边！注意那个明亮的地方——那是一个较短的循环。一旦发现了这个循环，你立即就会发



图 5-4　三个音乐盒的特性

现米穆斯[①]循环。”

“什么?”

“亮处,注意看亮处!”

“我不知道你在说些什么。”

“我说的就是那种很平常的亮度呀。你不要开玩笑了。”

“你用不着大喊大叫。我的确不知道你在说什么,我从未听过‘亮度’这个词。你能解释一下吗?”

“解释? 解释? 怎么解释亮度? 你是不是还应该让我解释什么是声音或灯光呢? 刚才你提到声音和灯光时,可是并没做任何解释。”

“那么能不能请你给我解释一下呢?”

“不客气。请看第一个盒子,亮度是 A,然后是 B,然后是 C,然后是 D,然后再返回 A。这就是我所说的一个循环。”

为了弄清楚,你走到旁边的一块黑板边,写下像图 4-1 中一样的状态列表。对于他所说的“亮度”的各种值,你都将它们记在你自己所取的状态名称的旁边。你写出这个列表后,他给你指出“米穆斯”循环的 5 个值(V,W,X,Y,Z)。最终你得到如图 5-5 所示的列表,它给出了亮度和米穆斯对应的盒子的状态。而且,实际上当你将每个相邻的状态用

(亮度,米穆斯)

来表示时,就可以得到图 5-6 所示的循环——这适用于三个盒子。

① 即 mimsy,是作者杜撰的一个无实际意义的虚词。——译者注

R	G	W	名称	亮度	米穆斯
1	1	1	a	A	W
1	1	2	b	C	W
1	1	3	c	C	X
1	1	4	d	A	Z
1	1	5	e	D	W
1	1	6	f	?	?
1	2	1	g	B	W
1	2	2	h	A	V
1	2	3	i	A	Y
1	2	4	j	C	V
1	2	5	k	B	Z
1	2	6	l	?	?
2	1	1	m	B	X
2	1	2	n	B	Y
2	1	3	o	A	X
2	1	4	p	C	Y
2	1	5	q	D	X
2	1	6	r	?	?
2	2	1	s	C	Z
2	2	2	t	D	V
2	2	3	u	D	Y
2	2	4	v	B	V
2	2	5	w	D	Z
2	2	6	x	?	?

图 5-5 亮度如何成为独立的状态？米穆斯如何计算？

"好吧，"发明者说，"现在你看出来了吗？"

"在我看来，如果按照你的方式给状态命名，那么结果就如你所说。这是我的理解。但是，我仍然没弄明白你所说的'亮度'和'米穆斯'是什么意思。它们根本不是实际的特性，只不过是你想像中虚构的东西——正如蓝色的野兔和红色的竹林一样。"

"我想，尊敬的超级观察者先生，难道你的想像中就没有任何虚构的东西吗？"

"当然没有。我看到的都是实际的情况——比如红色灯光的亮和灭。"

"我从没听说过'红色灯光'，你能给我解释一下吗？"

"解释？解释？怎么解释红色灯光？你还不如让我解释解释……"你忽

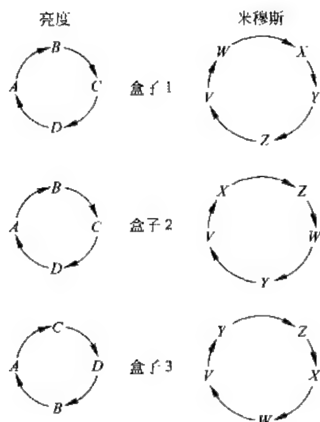


图 5-6 三种音乐盒的亮度与米穆斯循环

然停住了，懊悔地转向发明者，喃喃地说到，“哦，我明白了。”

你到底明白什么了？你仍然没弄懂什么是“亮度”和“米穆斯”，但是现在你知道发明者说他看到了时，他并不是在开玩笑。只是他的认识你很难接受，于是你懂了：

> ……我们每个人在成长的过程中，总是艰难地做出一系列的假设，来决定我们的行为中什么是真实的，什么是重要的；其次，这些假设使我们的生活更有意义，并且可以使我们避免一些恐惧和不确定因素；再次，如果人们想要改变这种根深蒂固的假设，就会引起不安和抗拒，而这些只能通过心理上的不断努力才能克服。

艾利奥特·贾克斯[4]（Elliott Jaques）

通常“红色灯光”或“音乐声”对于观察来说就足够了。然而，在这个仓库里面，如果你能学会“看出”亮度和米穆斯，事情就会简化。尽管一开始会觉得不自然，但是，毫无疑问，与这些盒子接触久了，自然而然的能够辨别出“亮度”和“米穆斯”，就像你能辨别出“红色灯光”或“音乐声”一样。

同样，物理学家可以辨别出“熵”和“密度”；化学家可以辨别出“化合价”

和“pH 值”；电器工程师可以辨别出“载波频率”和“阻抗”；经济学家可以辨别出“利润”和“边际效应”。你拒绝接受这些观点，就像学生不愿学习“质量”和“重量”的区别一样。如果你经过足够多的训练，你会发现发明者并没有疯，而是他像你的物理老师一样聪明，懂得那些复杂的东西。

我们可以从中学到些什么呢？回想一下无关法则：

规则不应该依赖于特定的符号表示。

请注意“应该”这个词。你所说的(R，G，W)和发明者所说的(亮度，米穆斯)的区别就在于符号的选择，因为你们都有能力将状态分解。但是，受到自己分解世界的固定模式的影响，你不能将他的 144 个音乐盒分解成由两个独立循环组成的简单机器。最终，你将学习如何分解。与此同时，如果你再喝点酒，可能你根本看不出这 144 个盒子任何合理的特性。据此，可以得到这部分的结论——并引入本章的主题——**差别法则**：

规则不应该依赖于特定的符号表示，但事实却往往与此相反。

科学的隐喻

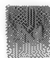
> 我们是按照一步一步的推理前进的，而他却是完全凭知觉。这样，为了了解无限循环的一些特性，我们从最简单的开始；我们把它当做定义，然后利用推论的方法得到第二个特性，接着是第三个，第四个等。另一方面，凭借神的理解力，不需要短暂的谈话就能够把握循环的精髓(为了避免亵渎神灵)，然后就可以理解所有的特性。
>
> 伽利略[1]

回顾一下，我们在什么地方开始对方法进行讨论。为了应付不熟悉而且复杂的现象，我们会尽量

1. 获得“全面”的观点——足够广泛，可以包含我们感兴趣的所有现象——这样我们就不会感到惊讶；

2. 获得“最小”的观点——将不必区分的状态合并——这样就不会使观察的负担过重；

3. 获得“独立”的观点——将观察到的状态分解成不相干的部分——这



样就可以减少对脑力的要求。

这些要求总是可以满足，但由此得到的观察世界的方法却可能不是"令人满意"的。也就是说，它没有遵循继承或借鉴历史的心理范畴。再次说明，我们的能力有限是要求观点"自然"或"令人满意"的根本原因，因为我们不能每时每刻在头脑中存在两种不同的观点。

换句话说，我们就像一个零杂工一样，做一件事时手中只拿一个相应的工具箱，但是必须随时做好准备从事水管工、电工、泥瓦工、木匠、玻璃工、金属工等工作。有时，零杂工会放下一个工具，换上一个更常用的。他这样做是假定将来接的活与过去的情况差不多。

零杂工怎么知道将来接的活与过去的情况差不多呢？这只是一种约定——我们以前曾经碰到过。或许我们称之为——**经验公理**。

将来会像过去一样，因为，在过去，将来就像过去一样。

据此，帕特里克·亨利的观察如下：

> 我只有一盏指路明灯，这盏灯就是经验。我判断将来的惟一方法就是以史为鉴……

换句话说，我们还能做些什么？通过分析历史，零杂工可以配出一个更实用的工具箱，科学家也是如此。

但是，像其他的定律一样，经验公理可以转换成对"像"这个词的定义：

> 如果一个事物的现在可以用另一事物的过去来代替，那么我们认为这两个事物是相似的。

我们说将来与过去相似，意味着某些我们认为重要的特性保持不变。那么，是哪些特性呢？

通过对诗歌的研究，我们了解到两件事情相似有很多种方式。诗歌的精髓在于**隐喻**——文字上的一种"转换"。隐喻是用一种事物说明另一种事物，比如：

> 我的爱就像那红红的玫瑰……

或者

> 我拥抱夏日的黎明……

隐喻只有在我们了解一个事物的特性，并且用它来说明另一事物时才能奏效。我们并不知道彭斯的爱是怎样的，但是我们知道红红的玫瑰意味着什么。进行这样的比较，或者说隐喻，彭斯利用了人们对玫瑰的通常理解以及在颜色上的感觉。如果我们对玫瑰没有任何认识，那么，这样的比喻跟"我的爱就像那什么什么"是一样的。

科学的专业化带来的问题之一就是不同领域中的科学家很少有共同的经历，这样一来就缺少交流的基础。英国人都有自己的花园，所以，即使是独身主义者也会理解彭斯的说法。法国人都明白"拥抱"的含义，所以，即使他们整个夏天都是直到中午才起床，也会明白瑞姆波特(Rimbaud)的意思。因此，即使我们对爱或者黎明一无所知，通过彭斯和瑞姆波特的比喻，我们可以用对玫瑰的理解来体会夏日的晨梦。

接下来，利用我们的隐喻，把上面一段话用非诗歌的语言来描述一下。说某个事物"像"其他事物，意味着一个事物的表象依赖于另一事物的表象。因此，暗喻就好像一种函数。对于

我的爱就像那红红的玫瑰……

我们可以写成

$$爱人 = f(玫瑰,\cdots)$$

这说明按照某种不确定的方式 f 来看，爱人像一支玫瑰。或者，对于

我拥抱夏日的黎明……

说明黎明就像爱人一样，我们可以写成

$$夏日的黎明 = g(爱人,\cdots)$$

从这个角度来看，科学和诗歌非常相似。诗人一开始就使用隐喻，然后再详细解释他的爱如何像一支玫瑰，或是黎明如何像拥抱女神。科学家从全局入手，然后不断进行修正和简化，最终将原始的函数简化成其他形式。像诗人一样，最终的简化结果被假定为是已知的，也就是还未定义的。

科学和诗歌一样，重要的不是隐喻的结果，而是**转换的过程**，也就是做出隐喻的过程。诗歌或是科学的结构决定了，隐喻可以建立在其他隐喻之上，函数可以建立在其他函数之上。如果



$$爱人 = f(玫瑰, \cdots)$$

以及

$$夏日的黎明 = g(爱人, \cdots)$$

那么可以得到

$$夏日的黎明 = g(f(玫瑰, \cdots), \cdots) = h(玫瑰, \cdots)$$

或者用诗歌的语言来描述

夜的花蕾，缓缓地抽出，向着黎明展开了花蕊。

根据其他诗歌创作的诗歌往往被称为“学院派的”的诗歌，因为它参照的基础并非是现实的体验，而是其他诗歌的体验。基于其他科学的科学同样被称为“学院派的”科学。在极端的情况下，二者都是呈现数学形式——一种超脱世俗生活的玻璃珠游戏[6]。

罗素(Russell)认为数学完全没有内容，这是对数学家的溢美之词，而非亵渎之举。在他们看来，纯粹的数学应该去掉所有世俗的东西。尽管纯粹的数学对于数学家来说很有魅力，但却是可望而不可即的事物，这比起人猿泰山按照从草丛中拣到的英语书学习英语还要困难。我们研究科学家如何使用隐喻以及如何将知识从一个状态转化到另一状态时，记住泰山的例子会有所帮助。

如在诗歌中一样，在科学中我们所使用词汇的含义最终都必须源自观察。“我们按照一步一步的推理前进，”但是，我们必须从循环的某种特性入手。同样，我们可以根据彭斯和瑞姆波特隐喻逐步理解黎明的含义，但前提是我们必须知道“玫瑰”的含义。

长官卢狄(Magister Ludi)能够净化他的玻璃珠游戏，而我们过滤世俗偏见的能力还不如他。最终，正如赫塞①书中的主人公所发现的一样，世俗的成分总是存在的，因为我们本身就是世俗的。我们是从数百万代世俗物质中升华出来的，许多东西是深藏在我们体内的，而我们总以为它们是“自然”世界中的身外之物。我们的眼睛所敏感的波段，正是太阳光中穿透大气层能力最强的波段，这并不是巧合。生活在封闭洞穴里的动物往往是看不

---

① 即本章文献[6]的作者赫尔曼·赫塞(Hermann Hesse, 1877—1962)，德国诗人及小说家，1946年获诺贝尔奖。文中的长官卢狄(Magister Ludi)即文献[6]中一篇小说中的主人公。——译者注

见的—— 它们看不见可能是因为它们没有在有光线的环境中进化。通过对视觉的研究，我们能够了解历史上视觉进化的年代；通过科学的隐喻，我们可以了解人脑的有限。简而言之，可以了解我们自己，了解我们为什么从事这种不可思议的游戏，可以称之为诗歌、玻璃珠，或者，如果愿意的话，也可称之为科学。

事物与边界

菊花朵朵白
只在霜下开
我欲采撷之
不知花何在

Oshikochi No Mitsune（おしこち の みつね）[7]

科学的隐喻中最深邃的概念之一就是“事物”或“部分”可以与其他的事物或者部分清楚区分开来的概念。这种隐喻的埋藏很深，以至于我们用到它时都很难察觉。人类学家提起部落的“社会组织”，就像他口袋里的一盒火柴一样。但是，对于初出茅庐的人类学工作者来说，来到研究现场，是很难看到“社会组织”的。经济学家提起“国民生产总值”，就像是在说猪栏里待宰的肥猪一样。GNP 减少，国力就会随之削弱。但是，如果我们想看看国民生产总值，又如何才能看到呢？是要到国库去看吗？

“事物”或“部分”是“特性”或“性质”的所有者，这些特性就像火柴盒中装着火柴，肥猪上长着肉一样。根据这些特性的不同可以区分一种“事物”与其他“事物”。要想称肥猪的重量，我们必须把它撵出猪圈，洗干净，然后称量。要想衡量 GNP，我们需要成立一个专门的政府统计部门，聘用几百个经济学家，将该指标从众多因素中分离出来。[8]

使用“部分”或“事物”的隐喻与我们在自然世界中的经历密切相关，尤其是我们对“边界”的体验。正如达·芬奇所说的：“一个事物的边界就是另一事物的开始。”

在地球表面，我们可以围着某个东西画一条线，然后立刻可以分出“里面”和“外面”。即使这条线是像图 5-7 中的那样弯弯曲曲，我们仍然可以判

定一个点，比如 P，是在里面还是外面。“外面”是指遥远的地方，所谓遥远是因为我们认为距离很远的事物之间是互不影响的。因此，我们可以这样确定 P 是否在外面，从 P 开始朝着已知的外面区域——无限远处——行进，最终到达确定的外面时，记下穿过边界的次数，我们就可以确定 P 是在里面还是外面了，如图所示。

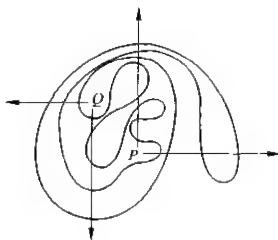


图 5-7 如何判定里面和外面

从点 P 开始，向无限远处画一条我们认为已到达外部的线，因为线穿过边界的次数为偶数次，所以 P 在“外面”；相反的，Q 穿的是奇数次，所以是在“里面”。对于边界有限的图来说，“里面”和“外面”的概念可以这样定义。

明确划分各个部分的概念根深蒂固，因此即使需要花费大量的精力，我们还是确信可以将“外面”和“里面”区分开来。用类推的方法将这一概念应用于我们研究的系统中，用“系统”这个词表明“里面”，用“环境”表明“外面”。根据无关法则，每个人都可以被看做一个“系统”，因为一个人的系统可能就是另一个人的环境。然而，根据差别法则，系统的选择对于我们观察世界来说是至关重要的。

我们所说的系统并不一定都存在于自然世界中，所以边界只是一个说法上的概念。即使如此，当我们处理具有实际边界的系统时，还是会遇到推理上的困难。出现问题的原因往往是我们根据以往的经验或是前辈的经验选择边界。由于这些经验在大多数情况下很有效，所以当它们失效时我们也很难摆脱它们的影响。

例如，选择边界时，我们主要受容易辨认出的物理特性的影响。颜色明显变化处、纹理变化处、固液交界处、液气交界处，以及很多类似情况，通常被当做边界。另一方面，如果两个固体被牢牢地粘在一起，我们就很难定义

它们的边界了。如果我们在霜冻中寻找白菊花，那么我们只能靠运气了。

通常，我们认为一个人的边界是他的皮肤，因为那里是固体—气体交界处，而且有明显的颜色变化。关于肺脏的分析就有点问题了，因为它的形状是像图 5-7 那样的曲线，但是闭上嘴，空气吸入肺中，确实是身体的内部。从另一方面看，除了肺脏中的空气以外，人体的周围还有一些界限不分明的空气。这些空气没有确定的边界，但是，当我们行走时，它会跟着我们行走，当我们停下来时，它也会停止。这些空气中的一部分是靠呼吸而循环的，但这不足以完成我们体内的不新鲜空气与新鲜空气（氧气）间的交换。

空气的这种更新是靠一种机制，但是人们很少考虑这个问题。由于不新鲜的空气离开人体时温度稍高，这样就产生了对流气流。暖空气比未被呼吸过的冷空气轻，所以从嘴和鼻子呼出后上升，从而被替换掉。太空舱的设计必须满足宇航员在非正常情况下的生理需要。在失重状态下，由于冷热空气重量不同而产生的对流气流不存在了，这样就需要专门设备保证宇航员周围的空气循环。在没有认识到这些空气是“宇航员系统”的组成部分时，我们设计出的太空舱很可能会使宇航员窒息。

另一个例子也与人类相关。近来，自然人类学家展开了一项争论，是关于为什么人类的体毛相对于其他灵长类动物要少得多。一个学派认为，人的体毛较少有利于散热，这样在炎热的环境中也可以打猎；另一个学派认为，毛发是寄生虫的滋生地；还有的学派认为人类的毛是在水生阶段脱掉的。然而，所有这些理论都没能解释我们的头发保留下来的原因。

我们通常认为头发是身体的一部分，因为它的确是附着在人体上面的。当我们考虑热量的问题、寄生虫的问题、或者游泳的问题时，这样看待头发是有所帮助的。但是，这种已被接受的思维模式使我们对另一种可能性视而不见，那就是，在某些情况下，头发可以看成是身体的**外部**。与体细胞中的物质不同，进入头发中的物质不再参与身体的生理过程。既然头发中的物质曾经在生理系统**内部**，而**现在是在外部**，那么生理学家可以把它看做是人体排泄物——像汗液、尿、粪便以及脚趾甲一样。这样说看起来有些武断，不仅因为头发长在身体上，而且因为这种排泄的速度实在太缓慢了。认为头发是环境的一部分，就使得生理学家开始考虑到底头发从人体中带走了些什么东西。实际上，某些微量元素是通过头发排出体外的，这可以部分地解释为什么体毛没有**全部**脱掉。

这样的实例举不胜举,说明我们关于"自然"边界的固有观念会影响思维的有效性。诚然,我们的前辈留下一套划分自然空间的系统和环境的有效工具,我们不能全盘否定这些工具。然而,当我们遇到没有明确的自然边界的系统时,边界的隐喻往往使我们对边界的推理颇具诱惑力但却是错误的。

问题的出现是因为即使是自然的边界,也并非与我们想像的一样。在我们的想像中,边界往往"跨越"了我们能够识别的其他环境的某种"部分"——例如得克萨斯州酒吧中的沙龙,俄克拉何马州的夜总会表演,一个绕开了州的禁酒法,另一个则绕开了州的公众礼仪法。现在的问题是"边界"不可能总是无限薄、恰到好处地使得一个事物既属于系统又属于环境。这样,边界的作用就不再是分割,而是连接了。

为了清楚地说明我们所讨论的边界不是十全十美的薄得能完美分割的线或者面,系统化思维者使用"接口"[①]一词来描述这类边界,就像两面神一样,能够同时看到里面和外面。"接口"的使用比"边界"更加频繁,因为我们更加注重系统和环境的连接,而不是分割。

边界的隐喻渗透到系统思想中,更多是通过图表而不是文字。通常,一个"部分"是用一个有边界的区域来表示——一个长方形或是圆形或是其他简单封闭图形。一个"连接"是用一条线或是一个箭头来表示的。图5-8中,我们可以看到一些由系统、环境以及接口组成的图表。注意,对于系统化思维者来说,这些图表是等价的,因为方框的形状和尺寸、线的长度和曲度并不影响"抽象"结构的描述。当然,我们也不是对这些事情毫不关心,有时,一幅画得好的图表对我们的理解会大有帮助。

但是,这样的图表也有可能将我们带入狐仙国。如果盒子的形状和位置有所暗示,那么相同的符号表示也会造成误解。更重要的是,就是可能会根据边界隐喻来进行不同系统之间的转化。并非所有的系统都可以像图5-9所示的那样,清晰地从环境中分离出来。首先,"森林"四周的边界不是我们想像的这么清晰。更有可能误导的是,将诸如植物和食草动物这样的"部分"之间的边界理想化。尽管,从数学意义上来说,我们有可能画出这样

① 原文为Interface,在汉语中根据学科和上下文的不同可以分别译为"界面"或者"接口"等。此处为了强调其两面性,译为"接口"。——译者注

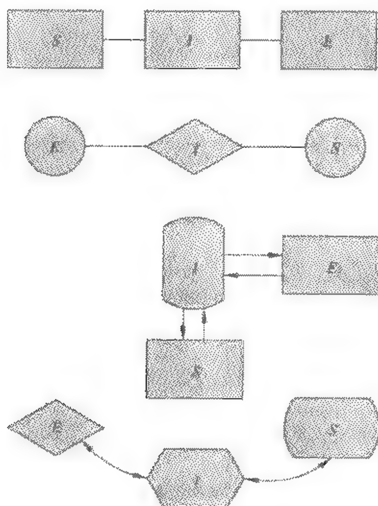


图 5-8　关于系统——界面——环境的几种等价的抽象描述：

S＝系统；E＝环境；I＝界面

的边界，但是那样的边界将会是非常错综复杂，以至于在相比之下，图 5-7 所示的曲线可以看成很好的圆了。而且，动物总是四处活动，所以，我们能否真的在植物和动物之间，或者食草动物和食肉动物之间画出一条有意义的边界呢——何况有可能同一动物既是食草的又是食肉呢？我们不能。正如在通用电气公司里我们不能区分出工人和管理者，在芹菜三明治中我们不能区分出维生素和矿物质，在悬置的音乐盒中我们不能区分出亮度和米穆斯一样。

我们应该经常采用有向图和方框做出结构图，以辅助系统化的思考。但如果这些图是在暗示：

> 我们的系统有非常明确边界。

我们实际上就是在说一些与：

> 我的爱就像那红红的玫瑰。

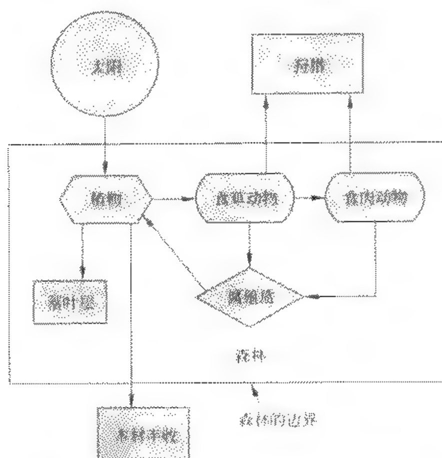


图 5-9　由几“部分”组成的森林的简单概念模型

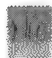
一样的话了。因此，作为科学家，如果我们对一个系统进行详尽的研究，那么必须确切地描述如何进行分割，而不能只停留在诗人般的隐喻上。而且，这种结构图是有局限性的——或者说我们自己是有局限性的——一个图可能只能容纳 15 个方框。除此之外，我们心里也开始犹豫不决，我们需要来自多方面的支持。

性质与不变法则

世上有两种人——把所有事物分成两类的人和不这么做的人。

肯尼思·伯丁

性质的意思是什么？正如那个发明家所说的，我们无法解释其含义，除非指着具有不同“性质”值的状态来解释。我们把这种定义的方法称为“直接(Ostensive)定义”。尽管我们在解释一套性质时会用到另一套性质，我们还是隐藏了一个事实，那就是原始集合是通过直接定义得到的。的确，我们已经远离了原始的定义，所以很难区别出原始的性质和推导出的性质。但



是,现在我们希望回溯到尽可能接近最初状态的性质——原原本本的玫瑰花。

对于记忆力有限的观察者来说,性质具有精神上的作用。我们可以认为某些性质比其他性质更"自然",但是这仅仅表明我们更习惯于那样进行观察。"习惯"包括"通常习惯",也就是说,我们的前辈发现某些性质比其他性质更有用,而且经过许多代的进化之后,发现这些性质的能力逐渐积累,超过了发现的其他性质的能力。这些能力传给了我们,所以我们会觉得"红色"是比"亮度"更"现实"的性质。

当然,从实用的角度看,它的确更现实,因为平均说来,它的使用频率远远高于"亮度"。但是这里,我们考虑的并不是平均而言的水平。对于一种特定的情形,任一种性质都有可能是简化视角的最佳选择。"红灯亮"可能只是在我们开车或使用电炉时有用,穿过丛林或是使用疯狂的音乐盒,它就没有用处了。

当我们在越来越陌生的环境中工作时,那些继承而来的感知能力就会变得越来越乏力。一般我们不会在同一季节中既看到冰霜,又看到鲜花,所以在冰霜中寻找白菊花我们毫无经验。如果我们从祖先那里继承了红外的视觉,那么就没有任何困难了。在拆分音乐盒的疯狂世界中,我们发现自己也毫无办法。

如果我们不考虑性质感知的继承性,而是抽象地看待问题,我们可以做出以下分析。发明者将某一种性质称为"亮度"。为了弄懂他的意思,我们首先问他,每个状态有**多少种**亮度。如果所有状态都有**相同**数量的亮度种类,那么亮度这个**性质**对于该行为的分解没有作用:这与"是一个状态"或者"存在"的含义差不多。

亮度的"量"不一定是数字数量。它有四种可能的数量:

$$(A,B,C,D)$$

然而,亮度作为一种性质,对于每一个观察到的状态,必须有相应的数量与之对应。如果需要的话,可以在数量列表中增加一个"不详"或"无"的表项,来解决这一问题。对于未观察到的状态,也可用这个值来表示,就像在图5-5中,我们用问号来表示状态(f,l,r,x)一样。

尽管我们可以猜出没有观察到的状态的亮度值,但是,这种猜测是建立在其他性质的基础之上的,比如(R,G,W)。实际上,我们之所以写下

(f,l,r,x)，只是因为我们以前见到过这种状态，或是根据笛卡儿乘积，从过去的知识推断出来的。如果我们从未观察过别的音乐盒，那么我们完全可以不考虑这些状态。即使只是经过几分钟的观察，我们就开始把该条件下的观察结果用到我们认为“相似”的情况中。将一个系统分解成多种性质的好处之一，是不会将视野仅仅局限于观察到的状态。如果在一个循环中，我们仅观察到 20 个无差别的状态，那么，我们就无法描述其他状态。这 20 个状态仅含有存在的性质。

然而，在最初对黑箱的观察中，由于某种原因，我们一开始就辨别出系统有三个“部分”，或者称之为性质，(R,G,W)。通过分别观察每个性质的特性，利用笛卡儿乘积，我们可以推断出可能出现的状态。在特定情况下，这种推断可能是错误的，但这是获得当前已知数据之外信息的惟一可行途径。

发明者眼中的音乐盒只有 $5\times4=20$ 种可能的状态。因为所有这些状态都是通过观察得到的，所以他不会像我们这样推断出其他可能状态的存在。他的看法是否比我们的强，取决于这些音乐盒是否会进入(f,l,r,x)的状态。例如，如果使用新的音乐，不是由 6 种曲调组成，我们那些额外的状态就成为多余的负担。

总而言之，性质是对系统状态进行分类的一种方法。例如，质量性质的最终定义是通过系统状态中质量的异同体现。如果要测量质量，那么，除了“相同”和“不同”以外，还需引入其他算符，比如“大于”。但是现在我们只关心质量的简单划分。

科学家有时会提到两种性质——**广延量**（容量性质）和**内含量**（强度性质）——这要看当系统划分为几部分时，性质如何变化。如果把一块巧克力掰成两半，每一半的质量都与原先的不同；那么，质量就是一种广延量，因为它取决于系统整体性的保持程度。另一方面，当我们把巧克力掰成两半时，每一块都还是巧克力；因此“巧克力”是一种**内含量**。还可以把它看做更偏向物理学的例子，即每一块都有相同的密度，所以密度也是内含量。

一些系统研究者想要借用这些物理学中的特性，但是在理解“性质”这一概念时，他们犯了一个根本性的错误。混乱还是来自于相对思考和绝对思考的混淆，因为广延量和内含量的定义是**与某种分解动作相关的**。比如说密度，如果我们切开一块巧克力，那么每一半的密度都与原先的一样。然而，如果我们在头脑中将巧克力分成味道和浓度两种性质，那么任一“部分”

(包括味道和浓度)都不再具有密度性质了。因此,密度在用刀切开的情况下是内含量,而对于某种头脑中的分割情况,就不一定了。

举一个技术性不强的例子,可能对物理学家也会有所帮助。在我们每天的英语交谈中,我们总要区分内含量单词——比如“牛奶”,和广延量单词——比如“西瓜”的复数表达形式。如果把牛奶和牛奶加到一起,得到的还是牛奶;但是,如果把西瓜和西瓜加到一起,得到的就是西瓜的复数形式。相反,如果把一杯牛奶分到两个杯子中,那就得到两杯牛奶;但是,如果把一个西瓜分成两半,那么,得到的只是两个半块西瓜。区别究竟何在?

糖和牛奶一样,爆米花也一样。似乎这与东西的尺寸有关,因为尺寸决定了我们分割该物质的通常方式。我永远也忘不了那个忙碌的周六,当时我正在干果柜台,一个瘦小的老妇人走过来问:“一磅越桔有多少个?”越桔处于广延量与内含量之间的分界线上——对于胡桃她也可以问同样的问题,但是对于花生她就不会这样问了。换言之,如果愿意的话,我们可以数出胡桃的个数,但是对于花生来说,还是采用称量的办法比较明智。不过,对于复数的这些认识,都是来自于我们通常采用的分解方法。阿伏伽德罗[1]因为敢于问“一磅有多少个原子?”从而开创了科学的新篇章。

广延量和内含量的定义反过来可以看做“分解”的定义。物理学家给出一系列的广延量和内含量,然后指出:

如果内含量保持不变,那么说明你对系统的分解是正确的。

换句话说,如果我把花生从巧克力中挑出来,分成一堆花生和一堆巧克力,那么这两堆东西的密度是不同的。我们可以得出的结论,或者是认为密度不是内含量,或者是我们的分解没有满足物理学家给出的准则。

对于平时所见绝大多数“事物”,我们在脑海中都有一套“正确”的分解法则。如果我们两个要分一袋花生,可以将每个花生都一分两半,或者数出花生的总数,然后各分一半,但是这样的做法你一定会觉得很可笑。对于越桔,我们之所以感到迷惑,部分原因在于我们对它不像花生那么熟悉,另外还因为它处于一个模糊的边界——一只手的容量——以此来区分不同的分

[1] 意大利化学家及物理学家,1776—1856。——译者注

解方法。

除了关注性质，我们还可以保持一个性质或一组性质不变，来关注分解的类型。这样我们可以区分出两种分解，一种保持这个性质，另一种改变这个性质。然而，分解成几个部分只是科学家的一种隐喻，或者说"转换"。我们可以将这种概念应用于其他转换中，从而得到**不变法则**：

> **对于任意给定的性质，都存在一些能保持它不变的转换和一些改变它的转换。**

换一个角度，我们将转换方式固定，就可以将**不变法则**改写为：

> **对于任意给定的转换，都会保持一些性质，改变一些性质。**

总之，一种特性或者性质可以通过那些保持它的转换来刻画，同样的，一种转换也可以通过它所保持的性质来刻画。一些转换将我们感兴趣的性质保持不变，我们则认为它们是有价值的。我们说图 5-8 中的四个图形是"相同"的，意味着我们可以改变它们的尺寸、形状和方向，而我们所关心的性质不会随之改变。因此，那些随着转换而改变的性质是"不重要"的。

相反，我们认为某些性质重要，则阻止相应的转换发生。我们不能去掉线条，增加方框，或者将箭头反向。在某些特定情况下，可以进行这些转换而不改变含义——比如，把图 5-8 中的箭头全部反向。但现在我们考虑的是一般情况，而并非特例。在这种情况下，我们需要考虑"某种结构的结构图"特性，当所有箭头反向时，通常说来这种结构的特性是会改变的。

总而言之，我们无法精确地说出特性的含义，因为可能的转换数量是无限多的。如果改变方框的颜色，作为某种结构的结构图，它的特性是否改变呢？回答是肯定的，但是从图 5-8 中的四个结构图中我们看不出这一点。同样的，从这有限的几个实例中，我们看不出是否允许将所有箭头反向。

我们可以将以上内容总结成这样的不变法则：

> **要理解变化只有通过观察保持不变的东西，要理解恒久也只有通过观察发生转换的东西。**

分割

> 我们发现分解是研究周围世界不可缺少的工具，但它向来不是绝对可行的，因为所有事物都与它的周围事物相关联。
>
> **P. W. 布里奇曼[9]（P. W. Bridgman）**

作为将系统分解成无边界的几"部分"的例子，我们可以回头看看对性质的划分，比如亮度、褐色和勇敢。然而，数学上对于严格分割的定义并不依赖于所分割的事物，除非人们已经知道怎样将一个集合从其他事物中分离出来。如果我们已经成功地进行了这样的分割，那么，根据三条数学定律就可以知道如何进行下一步的子分割。

分割可以用一系列有序对进行描述，比如，对一组状态分类时，每个有序对是由两个观察到的状态组成。在这种情况下，这些有序对并不表示"是……的后继"的关系，而是表示"与……的亮度值一样"。这样，因为(a、d, h, i, o)的亮度值都一样，根据笛卡儿乘积，我们可以写出关于这些状态亮度的所有可能的有序对。

显然，对于一种性质或特性，如果不能一致地确定出特定的状态，那么它就不能满足我们所定义的性质。例如，如果我们看到状态 d，而且发明者告诉我们它与上一次的亮度不一样——有序对(d, d)不在集合中——那么，关于性质的整个思想就瓦解了。对一致性的这种要求产生了描述分割的第一个数学条件，这样，用我们的语言来描述一个性质：

> 对于每个状态 x，有序对(x, x)必须在关系表中。

数学家称它为**反射条件**（想想镜面中的反射）。当用分割描述一个性质时，意味着当状态一定时，这个性质不随时间改变。如果一开始我们就像使用(R, G, W)那样，采用性质的思想，那么，我们就可以仅依赖性质值的改变来**分辨**状态。如果一开始我们对状态有一个整体的认识，那么，就必须选择那些具有反射特性的性质。

关于反射性的检查可以防止我们犯绝对主义的错误——把相对特性看成是绝对的。例如，如果我们试图将一个村庄中的所有人按照"表亲"分成几组，这样做是不合理的，因为作为"表亲"这一特性并非是绝对特性，而是

两个人之间的关系。一个人可能不是这个人的表亲，但却是别人的表亲。当注意到每个人显然都不是自己的表亲时，这种思想的错误就显而易见了。因此，我们不能将一个村庄的人按照"表亲"这一性质的不同值来分组。

一个关系必须符合我们对性质的直觉概念的第二特性是**对称性**。就正在讨论的性质来看，判别两个状态是否相同不应依赖于出现的顺序。如果我们先问，"a 的亮度是否与 b 相同?"然后问，"b 的亮度是否与 a 相同?"这两个问题的答案应该是相同的。从心理学角度来看，对称性并非总是成立，所以对相同或不同的判别可能会取决于判别提出的先后顺序。在这种情况下，我们所讨论的特性与通常所说的性质并不一致。

对称性还有可能在某种起初看起来无害的情况下被破坏。比如，如果想要将一个村庄按照"朋友"分组，我们必须定义每个人都是自己的朋友，以满足反射性条件。但是如果我们问 A 是否是 B 的朋友，得到的答案可能与我们问 B 是否是 A 的朋友不一样。根据无关法则，我们无法确定哪个答案更可信。因此，如果想要根据"朋友的小集体"这一性质建立一个理论，那么我们会陷入混乱中。

即使"朋友关系"在某个特定的系统中是一种对称性关系，由于**传递性**——第三个条件——的必要性，我们还是不能将这个系统分解成"朋友们"的子系统。例如，如果 B 是 A 的朋友，而且 C 是 B 的朋友，则 C 一定是 A 的朋友，那么，就满足传递性。显然，对于朋友关系，根本不满足传递性，因为 A 和 C 很可能是陌生人或者敌人。

传递性错误是讨论性质或部分时最容易犯的错误。考虑一种普通的情况，关于颜色分类的概念，比如"红色"、"蓝色"或"绿色"。观察者如何划分一组颜色样本呢？他可以一次观察一对颜色，判定这两种颜色是否相同。但是，当他判定完所有的组合后，能否分类颜色了呢？也许能——但是也不一定。为什么？因为人类的色觉器官所能辨别的色彩差别是有限度的，心理学家称之为"辨别阈值"或者 JND——或者用系统化思维家的话来说，是"纹理"或"分辨率"。

由于 JND 的存在，A 和 B 的颜色不同(就超级观察者来说，他可以分辨出这种不同)，但是在我们的观察者看来是相同的一类。假设 B 只是比 A 的绿色"稍微偏蓝"一点，但观察者不能辨别出这种差别；而且，C 也仅比 B"稍微偏蓝"一点，但这种差别也没有超过辨别阈值 JND。但是，可能对于观察



者来说，A 和 C 之间“蓝色”的差别可以分辨出来，这样一来，尽管 A 与 B 的颜色一样，B 与 C 的颜色一样，但是 A 与 C 的颜色并不相同。

无论是仪器，还是感觉器官，分辨率都是测量过程的一部分。对于纹理，可能不满足传递性的特点，哪里的传递性不满足，哪里就没有完全的分割，就不能清晰的将一个系统分成子系统，就不能清晰的区分系统和环境。如果对于临界部分采用与周围对比的方法测量，分辨率为 0.0002 英寸，1.0000 与 1.0001 被认为是“等长”的，同样，1.0001 与 1.0002 是等长的，依此类推。但是 1.0000 与 1.0002 不是“等长”的。有点奇怪的是，这样的测量违背了一个单一的标准，而不是与预测量的最后一部分相违背。

按照维度进行测量时，就不像长度测量这么简单了，传递性的错误也就更容易发生。例如，在生物学中，有时按照交配能力来定义物种。如果某类雄性可以成功的与另一类雌性交配，并繁殖出杂交的后代，那么，这两类就属于同一物种。尽管这看上去是一个清楚的概念，但是，进一步研究就会发现，它与起初按照生物的物理特征划分种的概念一样，变得模糊不清了。

沿着阿巴拉契亚山脉，相邻区域的青蛙都可以成功交配，但山脉两端的青蛙根本不能交配。因此，按照交配准则来划分青蛙的物种是不科学的。实际上，许多博物学家已经对全球物种的概念产生怀疑。

虽然物种的概念被认为是一种分割的行为，但是我们也可以把它看成是一种**合成**的错误。物种的定义在局部范围内是有效的，但对于由多个局部组成的大系统来说，就不可行了，有人对此也做了相应的研究。[10] 交配准则不能很好地分类，是因为它要求一种明确的定义——“成功交配”——这与系统模型不一致。在不严谨的报告中，很容易认为两类或是可以成功交配，或是不能。因为我们很少碰到像盐湖城动物园中的名为沙斯特的狮虎这样的情况，它的父亲是一只非洲狮，母亲是一只孟加拉虎。动物学家对动物世界的了解更深入，在他们看来，考虑到整个范围内，交配的成功率可大可小，有效测量必然要更加精确。一窝产仔数量不同；经过一段时间后，成活的数量不相同；每年的产仔数量也会不同。如果不考虑各种繁殖成活率的测量，就不可能推导出一致有效的种的定义。

当然，也不是完全不可行。毕竟，如果我们随意挑选一对动物——一只青蛙和一匹马，一条狗和一只鹧鸪，或者一只短吻鳄和一只鸭子——它们根本不可能产出后代。对这一点我们深信不疑，所以通常说来，没有人会让一

只短吻鳄和一只鸭子交配，因为至少要保证一方不会被另一方吃掉。尽管这样的原因与我们关于交配的概念不相干，但确实是有道理的。

正如我们现在所见，世界往往是清晰的分类，而不是像我们认为的那样——随意分类——不遵守反射性、对称性和传递性的分类。

强连接定律

清晰的逻辑思考要求我们每次只改变一个因素。

——一本科学教科书

所有其他事情是等同的……

——另一本科学教科书

数学上的准确分类和科学上的实用分类是有很大区别的。例如，疾病通常有好多不同的分类方法，包括：

1. 侵入病原体（流行性感冒病毒、绦虫）；
2. 人体的直接反应（风湿、发烧、霍乱）；
3. 最终造成的损害（小儿麻痹、肌肉萎缩）。

当然，医生必须根据他所能观察到的做出判断——如果他不能区分这些疾病，那么他就毫无前途可言了。但是医学研究学家试图采用其他的疾病分类方法，这种方法不一定很容易辨别，但是可以为超越直接给出的疾病状态打下基础。

“每次只改变一个因素”是一个无用的忠告，除非我们已经划分好因素或者性质。然而有用的因素，是通过转换视角，做大量实验得到的。一旦我们得到了“正确”的因素的集合——“正确”的划分环境和系统——答案就很简单了。实际上，这种简化也就是“正确因素集合”的定义。

如果停留在直接定义的水平上，就没有可以改变的因素集合——只有这个状态，那个状态，另一个状态。由于科学中使用的转换集合看起来是那么“自然”，所以一些研究者认为因素分解可以随意的进行。这就是那些“将所有事情分成两类”的人。

举一个经典的例子（幸好还是无名的）：

1. 系统分为两种，大系统和小系统。

2. 每一类又分成两种，集中的和分散的。

3. 这些类又进一步分为公共的和私有的。

4. 系统分为机械化的和非机械化的。

……

我们忽略其余细节；模式是显而易见的。这个技巧可以保证数学意义上的真正分割。但有什么用处呢？

为了实用，分割必须是动态有效的。系统规模的大小会带来什么不同呢？集中或分散又会带来什么不同？公共或私有呢？必须按照有助于系统研究的方向对于这些类别如何划分系统进行说明。只有通过每次改变一个因素的尝试，我们才能知道它们是否应该被称为一个"因素"或"特性"。根据不变法则，我们所尝试的变换对于某个特定的因素或特性，有的保持，有的改变，这样我们就可以了解这种特性的含义。

尽管我们不能精确说出特性的含义，但是，我们研究的转换越多，对于特性的理解就越深入。"越多"是个模糊的概念，但是，它所指的不仅仅是数量。例如，在图 5-8 中，一种变换使每个方框的边增加 0.000 001 毫米，另一种变换使方框的边增加 0.000 002 毫米。用这样的方法，我们可以产生无数的变换，却不会增加一点深入的理解。

不过，尽管我们不能精确描述何谓变换"越多"，但我们对"越少"却有所认识。我们甚至可以考虑这样的情况，就是**没有一个转换**可以保持某个特性。在这种情况下，根据不变法则，特性与"存在"是同义的，某种意义上，这个特性根本不能算是特性。

这不是标准的"系统"特性？——当系统发生**任何**变化时特性即会随之消失。这不是我们所说的"整体特性"吗？我们所谓"系统"不就是指**只有**这类特性的系统，不就是指如果不发生变化就不可能转换的系统吗？

终于，我们接近目标了。在前一章中，我们阐述了简化达到极限带来的后果。现在我们对"整体的"思想做出同样的阐述。剩下的工作就是将我们所发现的东西写成一般性的系统定律——**理想系统定律**：

真实系统的特性是无法研究的。

换句话说，系统化思想家像科学家一样，寻找的是圣杯——一种理想的系统——即使找到也无法研究。正如科学家或者诗人一样，他所探索的是——

种近似的"真理"，一种永远不能完成的近似。

现在我们先从这种完美主义的观点上后退一步，看看从我们已有的知识中可以得到些什么。基于简化策略的科学革命，对于我们理解宇宙已经做出了巨大的贡献。这种做法，对有些系统效果很好，对有些系统效果很差，还有很多系统没有试用。回想前面那个零杂工的例子，在好几百年中，科学就是这样发展的。有一个特定的工具箱，可以解决附近的、绝大部分的修理问题。但是后来，我们开始有了一些积累下来的问题——零杂工利用这个工具箱不能修理的问题。系统研究者看到了这些积累——科学尚未解决的问题。

积累包括两个部分。第一种情况，当前的科学可以解决，但因为未曾尝试，或是理解不当，因此尚未使其解决。比如说即使有合适的工具，也并非每个人都能修理好漏水的水龙头。第二种情况，当前的工具还不完备，这是一般系统论研究所真正关心的。

这是毫无意义的二分法吗？每种情况出现时并没有注明是第一种还是第二种情况。我们只能用科学工具来尝试，以便确定是哪一种。不过，既然科学在这个领域已经发展了一段时间，我们可以假定未解决的问题中第二种情况所占比重增加了。打个比方，我们在一个小池塘中钓鱼，过了一段时间后，大部分容易上钩的鱼已经被抓走了——这时就该换换诱饵了。

通过类似的讨论，我们会发现随着时间推移，容易分解的系统逐渐分解，剩下的系统一般是连接紧密、较难分解的。我们相信，这说明并非任意的组合——沃纳格特所说的"松散组织"——都可以称为"系统"。联系松散的组织当然也可以称为系统，但是这样的组织很容易分解成几个因素，因而极端的分解方法使组织失去了保密性。而且，它们中的大部分都已经分解了。

我们可以将以上讨论总结成**强连接定律**：

> **平均说来，系统比组织的紧密程度要在平均水平之上。**

换言之，系统元素之间的联系比"松散组织"要紧密。

强连接定律可以以几种不同的方式叙述。比如，可以写成：

> **系统由部分组成，其中任一部分都不能改变。**

印第安纳分子的黑兹尔可以做很多事情，而对返回印第安纳的人们毫无影

响，但可以想像，伊凡打个喷嚏，纽约的党员也会擤鼻涕。

使用这种特殊的形式，并不是打算精确地说明一个系统是理想系统。我们只是想唤起人们对互相依赖特性的注意，这种组织很容易看出来，至少对于随意的或普通的观察来说是这样。因此，这样的系统——像给定的那样——并不支持"一次一个因素"的策略，因为通常的因素可能已经实验过，而且发现它们是不合适的。我们曾尝试用通常的分类来理解某个人的行为，但没有成功。于是，我们认为一个人是"共产党员"，那么，他是一个大系统的不可分割的一部分，而不是一个独立的个体。

"一次改变一个因素"与"除了一个以外，保持其他因素不变"是相同的。因此，表述分解哲学时，也可以在"如果……那么……"的科学定律中，加上一句"所有其他事物是同等的……"根据分解的这种表述，强连接定律可以写成另外一种形式：

在系统中，其他事物很少有等同的。

回顾一下归纳出强连接定律的那些论题，我们会发现它们都起源我们简化世界的需要。如果我们的脑力是无限的，那么就不需要将系统分解成部分或者性质，也就不需要强连接定律。因此，"系统"概念至少有一方面是源于我们眼以及脑能力的有限。

参考读物

推荐阅读

1. T. G. R. Bower, "The Object in the World of the Infant," *Scientific American*, **225**, No. 4, 30 (1971).
2. Peter H. Raven, Brent Berlin, and Dennis E. Breedlove, "The Origins of Taxonomy," *Science*, **174** (17 December 1971).

建议阅读

1. Oskar Morgenstern, *On the Accuracy of Economic Observations*. New Jersey: Princeton University Press, 1963.

2. Hermann Hesse, *Magister Ludi*. In *Eight Great Novels of H. Hesse*. New York: Bantam Press, 1972.

符号练习与答案

符号练习

1. 已知集合(A,B,C,D),下面的几个有序对是否构成一种分割?

$$(A,A)\ (A,B)\ (B,A)$$

2. 以下有序对是否构成一种分割?

$$(A,A)\ (B,B)\ (C,C)\ (D,D)$$

3. 以下有序对呢?

$$(A,A)\ (B,B)\ (C,C)\ (D,D)\ (A,C)$$

4. 习题3中增加什么样的有序对,可以构成一种分割?三个"部分"各是什么?
5. 假设有序对(A,B)加到习题4的分割中,需要再增加什么有序对才能构成一种分割?各部分是什么?

符号练习答案

1. 所给的有序对不能构成一个分割,因为不满足反射性质,比如缺少(B,B)。
2. 是的。因为满足反射定律,另外两个定律缺省满足。例如,对称性要求如果(A,B)在集合中,那么(B,A)也必须在集合中。由于集合中不存在异种元素组成的有序对,所以这个条件自然满足,而且分割成"单个"的部分。
3. 不是一种分割,因为集合中出现了(A,C),但是没有(C,A),所以对称性条件不满足。
4. 加上(C,A),这样三个条件都满足,分割是有效的。

$$\{(C,A),B,D\}$$

5. 如果加上(A,B),那么就要应该加上(B,A),以满足对称性。而且,由于(B,A)和(A,C)都在集合中,应该加上(B,C),以满足传递性,然后还应该加上(C,B)。这样可以给出分割

$$\{(A,B,C),\ D\}$$

思考题

1. 语言学习

当一个说英语的人学习法语时，他通常需要花一些力气记住哪些单词是阳性的(le)，哪些是阴性的(la)。应该是"La *plume de ma tante*"还是"Le *plume de ma tante*"? *Tante* 显然是阴性的，因为我们知道阿姨都是女的，但 *plume* 呢? 也许，羽毛笔"看起来"像是阴性的。那么汽车呢? 据说，法国学术界关于应该是"le *voiture*"还是"la *voiture*"争论了 40 年。一个讲英语的人怎么会知道羽毛是性别呢? 一个法国的小孩子又是怎样学会这些东西的呢? 法国的学术界如何知道汽车的性别呢?

2. 遗传心理学

"事情"或"东西"的概念，我们是从哪里得到的呢? 是与生俱来的，还是后天获得的? 关于这个问题的研究可以先参考以下文章：

T. G. R. Bower, "The object in the World of the Infant," *Scientific American*, **255**, No. 4, 30 (1971).

3. 不明飞行物(UFO)

有时，尤其在炎热的夏天，我们会看到报道，神秘飞行物在黑暗中以惊人的速度闪过，出乎预料地移动等。在此，我们所关心的并不是这些物体本身，而是另外一个问题。地球外"生物"光临地球时，不以我们通常所认为的"物体"形式出现的概率有多大? 换句话说，是没有"未被发现的飞行系统"呢?

4. 政治人类学

根据 Fortes 和 Evans-Pritchard 的观点，政治体系主要分为两种——有政府社会和无政府社会。无政府社会又分为两种(未命名)，一种按照血统划分，另一种按照非分层的亲属关系划分。

人类学家认为这种分类是否合理(有价值)呢?

参见：M. Fortes, and E. E Evans-Pritchard, *African Political Systems*, pp. 6-7。London: Oxford University Press. 1940。

5. 心理学和哲学

JND还出现在另一个领域中——对时间的感知，也就是，对两件事情"同时"发生的感知（例如，可以参见 George A. Miller, *Language and Communication*, revised, pp. 47-49。New York: McGraw-Hill, 1963.）。与时间相关的"心理表示"——JND——两个事件可能发生而且无法区分出是"不同时间"发生的。心理学理论中，还有哪些JND可能的分支？基于同时性的物理学理论呢？

6. 语言学

通常人们认为语言是可以分割的，比如，区别法语和意大利语。这些语言之间有明确的边界吗？如果没有，那么，边界处是什么——比如，在阿尔卑斯山两种语言的边界是什么？这些观察结果对于语言学理论有什么启示？对于语言训练呢？

7. 非传递性赌博

有一种儿童游戏叫做"石头-剪刀-布"，两个人同时伸出手，做出剪刀（伸出两个指头）、布（张开手）或石头（握住拳头）的手势。胜利是由一种传递性的规则决定："剪刀剪布，布包石头，石头砸剪刀。"在这种传递性的游戏中，没有"最好"的策略，这对于孩子们来说太高深了。

然而像马丁·加德纳在数学游戏专栏中介绍的斯坦福的布瑞德利·埃佛朗将骰子游戏，对于成年人来说，也是难以理解的。有四种骰子，它们表面上标有以下数字：

A：(0,0,4,4,4,4)

B：(3,3,3,3,3,3)

C：(2,2,2,2,6,6)

D：(1,1,1,5,5,5)

第一个参与者挑选一种骰子，掷骰子得到一个数字作为得分，然后是第二个参与者，最终获胜的是得分最高的。在普通的骰子上面刻上数字，做一组这样的骰子，进行这个游戏，直到你弄明白为什么即使第一个人选择了

"最好"的骰子，第二个人还是有 1/2 的获胜几率！提示：加德纳指出"悖论(在某种程度下违背常理)的产生是由于错误的认为'更可能获胜'的关系每对骰子间必须是可传递的。"

参见：Martin Gardner, "Mathematical Games," *Scientific American*, December 1970, Vol. 223, #6.

8. 调查研究

做调查时，个人调查问卷通常要受到各种测试以保证其"有效性"。测试之一就是关于某些偏爱的传递性。比如，研究最佳的家庭规模时，向妇女们问如下问题：

"你喜欢要一个孩子，还是不要孩子？"

"一个孩子还是两个？"

"七个还是八个？"

然后从回答结果中推导出"最佳的家庭规模"。然而，如果有人的回答是："与不要孩子相比我想有一个；与一个相比我更喜欢要 2 个；与 2 个相比我更喜欢要 3 个；与 3 个相比我宁愿要 4 个，但是我宁愿没有孩子也不要 4 个孩子。"她的调查问卷就会被认为"无效"而作废。根据这一过程讨论相应的假定。给出适用和不适用的实例。

9. 土木工程

运河和水道通常是穿透障碍或边界的，但穿透也是有差别的。例如，苏伊士运河，尽管这是个无闸门(被人们认为是障碍)的海平面运河，但是由于有高盐度的盐湖，使得许多潜在的交叉生物不能在这样的环境中长期生存。在我们看来，这就像"水"在运河中，"鱼"生活在水中。当然，一些"鱼"可以很容易的穿过这个"障碍"，而有些不能。介于中间的以不定的概率穿过障碍。

讨论运河作为"边界"或"接口"的不同概念，对两边系统的影响。作为特例，可以考虑无闸门的新大西洋-太平洋运河作为巴拿马运河的补充。

参见：William I. Aron, and Stanford H. Smith, "Ship Canals and Aquatic Ecosystems," *Science*, **174**, No. 4004, 13 (1971).

10. 国家公园

美国的国家公园保留下来，是为了保存国家代表性部分的“原始”状态。然而，公园的边界通常是按照风景的美感而不是按照生态的和谐划分，所以，从保持物质和能量守恒角度来看，或者说维持前现代人类进入之前的状态，很多公园并不是一个“完整”的生态系统。例如，迁徙的哺乳动物或候鸟每年只有部分时间在公园边界内停留，河流的源头也可能不在公园边界内。讨论其他的实例，关于根据人们幼稚的“美感”人为设定的边界与实际生态系统和环境的不符，而这种和谐却是必要的。讨论不同分界方法带来的后果，以及如何使人为边界变得“现实”。

参见：F. F. Darling and N. D. Eichhorn, *Man and Nature in the National Parks*. Washington, D. C.: Conservation Foundation, 1967.

11. 市场

市场是一个边界，或者是边界的一部分。市场将所有通过边界的交易聚集到一个可见的舞台。这种聚集可以使交易规范，否则，双方系统都会充满危险，因为，比如，可能会有文化冲突。市场中充斥着各种规则，以便限制行为。可以讨论其中一些行为对于维持接口的基础重要性。

12. 港口

如上所述，市场是“进出口”的一个特例，这是一个更一般性的概念，是指边界上一个供流入流出的地方。在大多数边界上，没有交换，或者有限的而且可能是不可避免的交换发生。流入流出的危险性过程只在进出口上发生，通过将这些过程局部化，可以采用特殊的机制来解决特定的输入输出问题。对比各种进出口的实例，比如，嘴，港口城市、计算机终端，或者一扇门。

13. 隔膜

与进出口，或者说局部化的接口相对应的是“隔膜”的概念，或者说是分布的接口。一个显而易见的例子是细胞壁，几乎表面的每一点都可以通过，但并非所有物质，也并非所有时间都可以。

比较各类隔膜的接口，比如，细胞壁、内布拉斯加和南达科他州间的边境、皮肤或帐篷壁。对比进出口的概念和隔膜的概念。

参见：Lawrence I. Rothfield, Ed., *Structure and Function of Biological Membranes*, Chicago: Academic Press, 1971.

14. 局部分类学

地球上的每个地方都有它独特的植物和动物，于是也就应该有各自的分类方法。林奈提出了最初的系统，至今仍被生物学家使用。1737年，他从本质上将欧洲的一个特定地区按民族分类。林奈获得分离的类是根据万物所遵循的自然限制，但是他只研究了几千种物种，而世界上大约有上千万种的物种，即使现在也只有10%或15%的物种被人们了解了。讨论一下当林奈系统扩大到全部系统的分类时，将会出现什么问题。

参见：Peter H. Raven, Brent Berlin, and Dennis E. Breedlove. "The Origins of Taxonomy," Science, **174** (17 December 1971).

15. 药理学

当我们考虑药物时，通常提到药物的"疗效"，就好像这是可以从其他这样的实体中分离出来的固定实体。只要不是经常吃药，那么这种看法是足够对的，因为两种药一起吃的情况基本上不会发生。当吃的药增多时——近似为"一种病吃一种药"的生活哲理——这种清晰的分类不再适用于药效的分析。例如，酒精与巴比妥酸盐和镇定剂会剧烈反应，效果现在已经很清楚了，因为酒精在人们生活中很普遍。但是近来，处方药之间的相互影响已备受重视。研究这种相互作用，讨论一下如何避免危险情况的发生，并将这些策略与计算平方定律和强连接定律联系起来。

16. 福利经济学

所谓的"福利经济学"，是试图解释为什么经济学家所说的一个状态下的经济比另一个状态要"好一些"。

帕雷托最优的斩获，是当系统所处的状态不能转移到另一个新状态——既有人的情况变差，至少有一个人的情况变好（都是根据个人评价）。

可以与维布伦的观点比较，他认为没有变化不是有助于某些人，而损害另一些人的。如果维布伦是对的（他所说的是一种"系统"的概念），那么帕雷托最优就是毫无意义的。那么，在某种近似下，它是否有意义呢？根据强连接定律和计算平方定律讨论这两个概念。

参见：Vilfredo Pareto, *Manuel d'économie politique*, 2nd ed. Paris, 1927.

第6章 对行为的描述

就我自己的情况而言，研究这等分析的结果使我得到了一个信念，而且这个信念随着实践的增加日渐强烈。这个信念就是，分析的对象最好是针对所作所为或者是正在发生的事件，而不是针对物体或者静态的抽象描述。

P. W. 布里奇曼①[1]

仿真——白箱

对于这类功能性描述而言，人类的发明中的还没有什么其他东西能够比数字计算机更为方便了。它实在是变化万千，其行为(在其正常运行时!)中可以检测的有限特性几乎都是组织特性。数字计算机在进行其基本运算时的速度性能也许使我们能够对它的组成部件和本质定律做出一点点推理，例如，处理速度的观察数据，可以使我们对哪个部件"较慢"做出判断。但除此之外，我们很难根据硬件的特性对一台运行中的计算机做出什么有意义的描述。一台计算机是基本功能组件构成的组织，比较准确地说，只有由那些组件所实现的功能才会与整个系统的行为具有相关性。

赫伯特·A. 西蒙[2]**(Herbert A. Simon)**

前面几章中，我们讨论了"黑箱"——即只有通过对其行为进行观测才

① Percy Williams Bridgman (1882—1961)，美国物理学家，曾获1946年诺贝尔奖。——译者注

可能了解的那类系统。对有些人来说，所有的系统论思维方式都是从黑箱范式开始的，而对于另外一些人来说，则采用正好相反的思维范式。对于我们来说，对两种范式均不能顶礼膜拜。黑箱是理解事物的一种方法，“白箱”或者叫做仿真，也同样是一种方法。无论希望理解哪一种方法，都必须同时理解两种方法。

有一些系统论者将仿真视为一种终极工具，他们认为对系统行为的理解必须通过**构造一个系统**来演示和表达。系统仿真不是将系统的内部构造**完全隐藏**起来，而是将系统的内部构造**完全展现**出来——即采用白箱方法而不是黑箱方法。但正如我们下面将要看到的，由于我们自身所具有的局限性，无论白箱还是黑箱，都无法做到完全的展现，即使这个系统是我们自己构造的也同样如此。甚至是最简单的系统有时也会使其建造者感到意外。

尽管如此，如果我们能够搭建一个系统，其行为与我们认为已经理解的某个系统的行为看起来相同，则对于我们已经获得的理解也是一种确认和强化。即使我们试图搭建一个仿真系统没有获得成功，至少也可以说明我们的理解还有待加强。但是，我们永远也无法确信我们的仿真系统能够捕获被研究系统的所有特性。为了全面理解被研究系统的全部特性，需要进行无数次的变换。

系统仿真可以通过构造成比例的物理模型的方法进行，就像建造轮船和飞机那样。这种仿真方法具有很好的直观性，因为毕竟模型船“看起来很像”轮船。然而，建模者需要努力克服的正是自己的直觉。20 世纪初始当地质学家开始建立小比例的岩石系统物理模型时，很自然地选择了用页岩来表示页岩。然而，由于采用了缩小比例的方法，页岩的特性并不合适做模型（页岩的硬度太高）。最终他们发现，在模型中用沥青模拟页岩特性是最好的，是比页岩更好的“页岩”模型。

只有比例化的规律显而易见时，建模者才有可能预知模型的行为与最终的轮船、飞机和山体岩石的行为之间的关系。研究比例化规律的学问称为“维度分析”，值得特别推荐给那些具有足够数学训练的而且有志成为系统论的人们[3]。例如，图 6-1 中有一大一小两个力学系统，每个系统都是弹簧上悬挂着一个质量为 m 的物体。这样的系统一般会按照固定频率振荡，例如，可以用于时钟的计时基准。



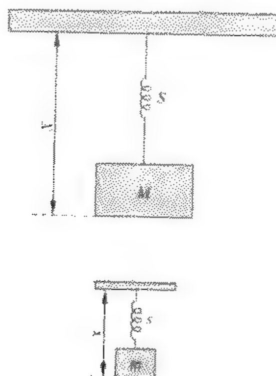


图 6-1　物理系统与比例模型

现在假设我们根据上述原理在教堂高高的尖塔顶上建造一个钟。如果这个钟体积大、造价高，一旦就位就难以调节，我们很可能就会希望在开始建造大钟之前先对这个大钟进行仿真，这样我们就可以知道一些情况，比如多大质量的钟、需要什么样的弹簧。应用维度分析的方法，我们就可以利用模型的观测数据预测大钟的行为特征。这样大钟的行为就会与模型相同，只是"更大"而已。

另外一种直观性较差的仿真方法是进行模拟计算。目前大部分的模拟计算都是通过电子模拟进行的，电子电路与被研究的系统在某些方面具有相似的特性。图 6-2 是图 6-1 中力学系统的电路仿真图。对于缺乏专业经验的人，这两种系统之间的相似性远没有比例系统之间的相似性是那么直观。但是，就像一般人可以看出大小弹簧之间的相似性一样，工程师们可以看到这两者之间的具有严格的相似性或同质性。实际上，电子电路模拟比比例模拟更加简单容易，其变换规则更为直接，不需要复杂的维度分析。

例如，电容 C 上的电荷 q 就是力学系统中距离 X 的直接模拟量；电容的容量就直接对应弹簧的弹性；电阻的阻抗 R 对应力学系统中的阻力；电感 L 对应质量 m。因此，通过观察电容上的电荷，我们就可以得出质量运动的结论，而根本无需再搭建任何时钟。

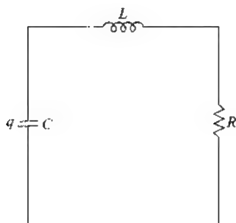


图 6-2　对图 6-1 的电子模拟

更为复杂的系统——生物系统、力学系统或者你所知道的其他任何系统——都可以通过类似的电路进行仿真。但是由于难以要求大多数人掌握电子工程师的专业技能，所以模拟计算机仿真方法对于刚刚人门的系统论者来说不是一种现实可行的方法。当然，那些具备了相应基础的人们，则可以采用这种方法，这是对他们以往学习的一种回报。[1]

幸运的是，数字计算机为那些在物理学或者电子学方面没有受过训练的人们提供了一种更为实用的仿真工具。数字计算机作为一种一般性的仿真工具，具有比例仿真和模拟仿真无法比拟的一系列实用优势，但需要注意的一点就是“程序编制”。流程图允许我们使用大家多少都能接受的语言来建立白箱系统。研究计算机编程是一种绝好的改善系统化思维[5]质量的途径，但计算机编程经验对于理解计算机程序中所包含的过程而言并不是必需的。

举例来说，假设我们希望仿真仓库中的音乐盒，在发明者不在场时就可以研究。计算机可以接通一对灯光和一个哨子，或者更好的话，接通一个可以打印(R,G,W)值的打字机。我们可以向计算机内存中输人需要显示的 20 种状态，可以用($S_1,S_2,\cdots,S_{20}$)来表示。然后我们在计算机中置人一个程序——就是控制打字机的一组指令。程序可能是这样的：

1. 第 2 行重复 20 次，i 从 1 变到 20。

2. 显示状态 S_i。

这个程序可以让计算机打印出一组完整的状态。如果我们希望无限制地打印一组一组的状态，我们可以在程序中加上一行：

0. 无限次执行第 1 行和第 2 行。

如果在计算机中装入这3行程序，计算机就会无怨无悔地打印出一组又一组的状态值，直到我们厌倦了这些状态值或者打印纸全部用光了。

看到这里，敏锐的读者会指出上述模型是自欺欺人，因为要做到上述结果，我们几乎不需要了解音乐盒。上述技巧实际上模仿了一个隐身于机器人中的微型象棋大师，我们所隐藏的小精灵就是排好了顺序的20个状态，所以他们正确地打印出来就没有什么可奇怪的了。那么，它又证明了多少我们对音乐盒的理解呢？答案自然是，什么也没有证明。

要证明我们对于音乐盒的理解，惟一的办法是我们输入的状态**少于**20个，然后我们观察计算机给出的结果与音乐盒自身的下一个状态是否相符。举例来说，在可拆装的音乐盒中，我们发现了两组相互独立的状态，一组是具有4个状态的灯光（L_1，L_2，L_3，L_4），另一组是具有5个状态的音调（W_1，…，W_5）。如果我们将这9个子状态存入计算机，我们可以执行下面的程序：

1. 无限重复第2行，i从1变到4，j从1变到5。
2. 显示状态（L_i，W_j）。

这个程序比前面的程序就真实多了，因为我们只输入了9个状态而得到了20个状态。为什么？因为我们分解了不能拆装的音乐盒的特性，并且**还可以**将这些特性组合到一起。

正是在这个意义上，我们说系统仿真可以表达我们对于系统的理解。如果我们不是简单地**复制**或者**模仿**一个系统，而是通过较少的部分，或者状态，或者特性组建一个模型，我们就一定会增加对系统的**某些**了解。

为了说明这种构造上的仿真概念，我们来搭建一个更加复杂的机器。所谓复杂，是指状态数大大增加。假设每个状态通过100位数来代表，通过笛卡儿乘积可知应有10^{100}种状态。存储所有的状态需要计算机具有100×10^{100}位数字的容量。由于计算机很难有这样的容量（毕竟可知的宇宙中还没有这么多粒子呢！），这就自动证明了我们不可能用这么大的数捣鬼，起码我们不可能预先在计算机中存好这么多状态。如果需要对这个机器进行仿真，我们就必须通过少得多的状态生成这个机器的行为。

在开始详细地仿真之前，先对一个合理的环境设置——白箱模型——给出一种**解释**。假设我们刚刚获得了一般系统论思维的博士学位，并且在城里开了一个“一般系统论思维咨询公司”，门上的铜牌闪闪发亮。由于

般系统论思维咨询师如此短缺，所以公司开张第一天的清早，就有一位顾客等在门口了。这位顾客饱经风霜：古铜色的脸、歇顶的头、银白色的山羊胡子。他递上来的名片上写着：

最新技术集团
奥秘俱乐部联盟
OCCULT 俱乐部
密奥 E. S. O'Teric，大法师

顾客开始提问题：

“您熟悉我们的组织吧？”

“这个……”

“没有关系。我们奥秘组织刚刚公开，正在招聘新成员。几个世纪以来，我们都是一个封闭的团体，试图从宇宙中找出数字的奥秘造福人类。但是最近，所谓‘科学’开始对我们潜在的年轻接班人发出了巨大的引诱，所以我们不得不将我们的方法现代化。现在，我们用最新的技术——例如，计算机——和最新的组织方法来组成我们的俱乐部。”

“对，你们在《海湾卫报》(*Bay Guardian*)上登过广告。”

“好，看来你是读《海湾卫报》的。你一定是一个现代化的系统论思维家，正是我们需要的能够解决我们的问题的人。”

“你的问题是……”

“你知道，我们的俱乐部出现了问题，问题出现的速度比俱乐部发展的速度还要快。我们无法理解这是为什么，因为俱乐部是严格按照算术规则组织的。例如，每个俱乐部必须具有 100 个会员——100 可是个完美的平方数。通过会员之间的相互作用，每个俱乐部都可以奋斗到完美的 1，但实际上每个俱乐部什么都没有，变成了完全的零。”

“我好像没有听明白。”

“我给你画一个模型。你看，每个成员加入俱乐部后都会被指定为某个层级，用 I 到 X 这些罗马数字表示。决定层级的因素是会员的星座、智商、鞋子的尺寸等。有些人天生就很完美，因此就自动成为 I 级会员，也就是进入了我们的领袖层级，我们希望他们能够带领其他层级进入 I 级境界。但是，这些人的影响似乎很弱，而且俱乐部的会员们逐渐地开始追随那些什么也不知道的人了——就是那些“零”们或者 X 们。我们甚至采取了极端措

施，将那些X开除出俱乐部，但他们空虚的哲学观似乎在现代青年中很有市场。如果不能阻止这些人，古老悠久的奥秘学说就会被逐出现实了……"

"为什么不坐下来喝杯咖啡，平静地把事情说一说？不过我有点不太明白，系统化思维方法怎么能帮上你的忙。"

"一定得帮上忙。我听说研究一般论的学问家能够解决任何问题。"

"我们可以**谈论**任何问题，但解决问题是另外一回事。不过不要着急，如果你没有完全满意，我们会把你的钱全部退还给你。虽然我们这个专业是新的，但我们有自己的职业操守。好吧，谈谈你的俱乐部吧。"

"嗯，我们不明白为什么"零"们——或者像我们称呼的，X们——是如何获得这样的影响的。俱乐部从来不开全体会，只是两两一对、面对面地进行秘密讨论。我们希望通过减少聚会的形式来避免背信弃义的虚无主义的蔓延，但是纯洁的理由似乎无法阻止问题的发生。"

"纯洁的理由是什么意思？"

"像您这样有教养的人毫无疑问应该知道，宇宙万物都遵循数字和算术规则。因此，在我们俱乐部中，会员们不使用姓名，而是用全国总部指定的一个阿拉伯数字表示。每个俱乐部的会员从01～100，每个会员都有自己的层级，从Ⅰ～Ⅸ（即1～9），还有零，但我们叫X，因为罗马数字里面没有零。每个星期总部都会选择出参加会议的会员名单并发出通知。选择的原则我现在不便披露。"

"如果你不能告诉我所有的事情，我就无法帮上你的忙。"

"在适当的时候我会向你解释参加会议的会员是如何选择的。眼下我们只需认为出于各种考虑，实际上就是随机地选择一对会员号码。当然，你知道，真正的随机是不存在的。"

"当然。"

"好。对于不了解教义的人来说，这些数码是随机的，并且是一个有序对，例如(03,17)，(95,08)，(66,45)。有序对中的第一个会员是老师，是启蒙师，第二个会员是学生，是初入教的人。会议结束之后，根据奥秘的原则，新教徒会获得新的层级，用相应的新罗马数字表示。"

"你的意思是他获得了他的老师，也就是启蒙师的层级？"

"不一定。你知道，这取决于乘法规则。例如，如果启蒙师的层级是Ⅸ，

而学生的层级是Ⅶ，那么学生的新层级就是Ⅲ。"①

"我有点不明白。"

"算术！简单的算术！整个世界就是简单的算术呀！"

"是，是，当然是。不过您能不能再解释一遍使我的的确确搞明白？"

"哦，非常抱歉，是现在的年轻人让我变得这样容易激动的。我告诉你整个规则。为了确定学生的新层级，你现将老师和学生的层级相乘，如果乘积是两位数，就把第一位数字去掉。所以，$9\times7=63$，去掉6就是3。换句话说，九七得三。"

"我明白了。如果老师是Ⅷ、学生是Ⅳ，新层级就是 $8\times4=32$ 去掉3得到2。对吧？"

"正确。"

"那么您希望我做什么？"

"我想让你在你的计算机上对我们的俱乐部进行仿真，并且告诉我们你发现了什么。我们不能让黑暗魔鬼战胜光明之神。"

于是在谈定咨询服务费并将O'Teric先生送到电梯之后，我们就开始仿真了。我们发现，产生新层级的规则与艾什比的《控制论导论》[6]（Introduction to Cybernetics）中的一道作业题一模一样，于是翻箱倒柜找出当年的课堂笔记，使它有生以来第一次派上了用场。我们发现，可以用计算机的一个内存单元来仿真俱乐部会员以及他的层级，内存中存放一个罗马数字。对整个俱乐部而言，就需要100个内存单元存放100个会员的层级，也就是 $d=(d_1,\cdots,d_{100})$，其中 d 是层级号码。我们还需要一个阿拉伯数字对 (i,j)，来选择老师 (i) 和学生 (j)。这些数可以存储在磁带上，也可以存储在打孔卡上，或者通过打字机给出，或者把卫星从远处传来的无线电波转换而得。由于密奥先生不想透露选择的规则，我们的程序将简单地通过下面这样一条指令获得一个数字对：

1. 取下一个数字对 (i,j)。

我们可以实验产生 (i,j) 的各种方法，过后我们还会向O'Teric先生索要具体的数据来验证我们的仿真结果。

一旦确定了数字对，就选定了一对俱乐部会员，会员 i 和会员 j。他们

---

① Ⅸ、Ⅶ、Ⅲ分别对应阿拉伯数字的9,7,3。——译者注



的层级 d_i 和 d_j 的乘积存储在临时内存单元 t 中。我们给计算机的指令可以是：

2. $t = d_i \times d_j$。

下一步，我们希望用乘积 t 的最后一位作为新的层级，存储在 d_j 的单元中。在计算机程序中可以写为：

3. $d_j = t$ 的最后一位。

我们的工作似乎就是这些了！整个程序可以整理成：

0. 无限重复 1～4 行。

1. 取下一个数字对 (i,j)。

2. $t = d_i \times d_j$。

3. $d_j = t$ 的最后一位。

4. 显示 $(d_1,\cdots,d_{100})$。

图 6-3 显示了上述 1～4 行执行两遍的情况。第一个 (i,j) 是 (28，35)，从而选择了具有层级 3 和 7（Ⅲ和Ⅶ）的会员。下一步，t 的值通过 $3 \times 7 = 21$ 得到，t 的最后一位，1，于是被存储到 d_{35} 的位置，因为 $j = 35$。因此 d_{35} 中的层级就从Ⅶ变成了Ⅰ，整个系统的状态也因此发生了变化。

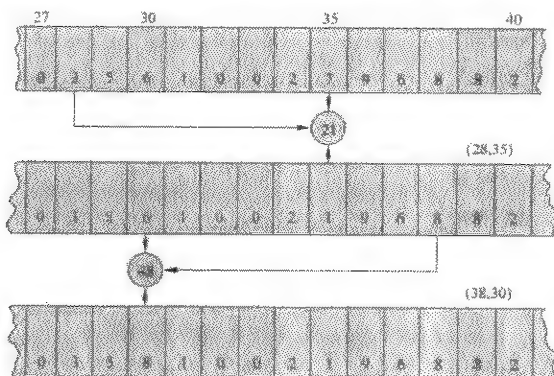


图 6-3 OCCULT 仿真的结构

与此相似，下一个输入对 (38，30) 导致 d_{30} 变成了Ⅷ，你可以自己加以验

证。按照这种模式，一次改变一个层级，系统就会与其初始状态越来越远。图 6-4 显示了进行 20 次变换之后的系统状态。如果你已经掌握了“算法”，应该可以理解每一次的变化。

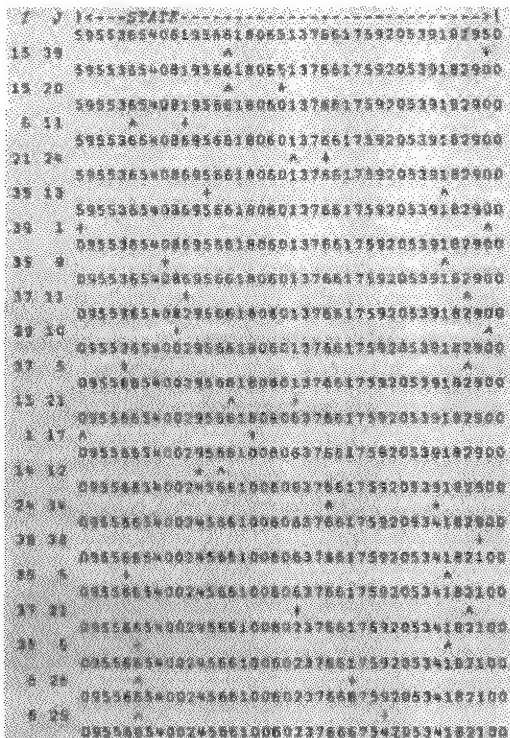
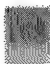


图 6-4　40 个成员的 OCCULT 俱乐部仿真结果样本

实际上为了简化表达，图 6-4 显示的不是我们初始系统的 10^{100} 个状态，而是更简单的 10^{40} 个状态。我们非常容易理解这个系统，也非常容易转换到我们对于 10^{100} 系统的理解，因为我们知道计算机模型的内部结构。两个



模型并不完全一样,但是具有足够的相似性,我们知道如何准确地将一个系统的程序变换成另外一个系统的程序。实际上,我们只需要把第4行改成:

4. 显示($d_1,\cdots,d_{40}$)

就可以了。更好的改法是:

4. 显示($d_1,\cdots,d_n$)

在程序开始的时候,对 n 具体赋值,n 的具体值就表示了我们仿真的是多大一个俱乐部。这样的变量 n 与我们在图 6-2 中演示的电气工程师进行实验的电阻 R 和电容 C 等的作用是完全相同的。我们将这种操作称为"改变参数",这样我们就可以将一个系统的仿真转化成为另外一个相似系统的仿真。程序中参数的处理办法决定了模型相似性的情况。

在图 6-2 的模拟计算机中,改变电阻参数不会改变模型的**结构**。在模拟计算机中,改变结构不是简单地变化电阻值就能实现的——必须改变组件之间的线路关系。在数字计算机中改变结构则必须改变程序。由于程序存储在计算机的内存中,所以改变结构就更加容易完成了,只要能够预知需要怎样改变结构种类就可以了。

在我们的 OCCULT 系统中,俱乐部会员人数可以通过改变 n 的值轻而易举地实现。一种可能的假设是数字 100 可能与俱乐部会员中虚无主义的传播有某种关系,因此,我们将俱乐部会员数作为一个参数,就可以变化俱乐部的规模来研究它是否影响俱乐部的行为。或许,为了挣到我们的咨询费,我们只需要向 O'Teric 先生建议,为了战胜黑暗的力量,只要将完美的平方数换成另外某个数字就可以了。不幸的是,后来我们将会发现事情并不那么简单。

状态空间

一个容纳万物的所在,万物亦皆有其所在。

著名格言

一旦我们开始 10^{100} 个状态的系统的工作,我们需要新的格言,或者对旧的格言进行改进。对于具有 20 或者 24 个状态的音乐盒,我们可以随手在纸上写下字母、画上箭头表示状态之间的移动。这时状态在纸面上如何布

置并不重要。但是对于 10^{100} 个状态的系统而言，我们就必须有秩序点儿了。首先，我们的字不可能小到在一张纸上写下所有 10^{100} 个状态，即使我们能够写下来，也不可能看到我们想找的东西。我们需要一种**系统化**的方法，使得每个状态只占用一点点空间。

如果系统的状态由两个属性构成，例如（灯光，音调）或者（亮度，米穆斯），我们可以按照图 6-5 所示的表格来表示这种状态。表格中的每个方格表示且仅表示一种状态，每个方格之间可以有线条表示状态的变化。如果属性有多个取值，就可以将方格缩小成点，以便一页纸上容纳得尽可能多些。

亮度 \ 米穆斯	V	W	X	Y	Z
A	*h*	*a*	*e*	*i*	*d*
B	*n*	*g*	*m*	*o*	*k*
C	*l*	*b*	*c*	*p*	*s*
D	*t*	*q*	*v*	*r*	*w*

图 6-5　用二维表形式表示的状态

这个表格与笛卡儿乘积（或者乘积集、“乘积空间”）关系紧密——因为它能够将与物理空间的相似性显性地表达出来。给我们提供这种显性的是笛卡儿，无论从集的名字——笛卡儿乘积，还是从空间的形式——笛卡儿坐标，都能够发现这一点。这个方法来自笛卡儿在 *Discours de la Mèthode* 第二准则中的名言：“将所有问题分解成尽可能多的独立要素。”我们已经看到了“属性”从系统中分解出来，乘积空间表示了通过系统化的方法它们如何回归本象。

如果每次分解都是一个独立的部分，那么乘积空间必须包括所有的初始可能性。在这种情况下，会有一个区域包容所有状态，每个状态也都有一个区域。每个区域都由笛卡儿乘积的一个要素确定，例如（B，X），我们找到状态 m，或者（D，Z），决定状态 w。

笛卡儿教会我们如何在平面（二维平面）上通过一对惟一数确定一个点。实际上之所以称为“二维”就是因为能够用一对数来描述。当然，我们

可以用无限个数对来描述平面上的点。我们会发现纽约市的某个角落可以通过两条交叉的街道(44街与第一街区)来表示,或者街道上的数字和建筑(第一街区787号),或者从某个固定点开始的方向和距离来表示(帝国大厦东北两英里)。任何一个方法都可行,但对于特定的目的,有些方法可能更方便一些。如果我们忘记了在物理空间上的格子是任意的,在穿过赤道时就会对没有发现巨大的红色带状地带而大吃一惊。[①]

我们还发现,如果在两变量系统的**状态**和物理平面的**点**之间建立某种关联,会更方便一些。但是我们同样不能忘记这种关联也是任意的。例如,如果属性足够细化,某种方案就可能在平面上形成一个不间断的或者"连续的"行为线,而这种连续性可能完全只是由于我们对属性赋予的数值造成的。当然,在这种情况下差别法则可能适用。我们可能希望找到这样一种赋值方法,因为它可以减轻我们记忆和描述行为的精神负担。的确,系统化思维者很大一部分工作正是在于对属性的赋值,以便能够很好地跟踪系统的行为,在表达在平面上时具有整洁的数字。

如果我们成功地找到一个点,使得系统行为看起来是连续的,那么就可以认为从一个状态指向另外一个状态的箭头非常非常小。在这种情况下,我们就可以考虑两个状态之间的相近的程度,从而平面上的**区域**就可以代表**状态的集合**,或者认为是彼此相联系的区间。数学的分支之一**拓扑学**[7]就是研究如何转换视点并保持像相近程度这样的一些属性不变——但是无论数学多么复杂,也不能抹杀原始的相近程度是由观察者来确定的这一事实。

我们每天都会遇到用二维来表示系统的情况,或许我们对此已经熟视无睹了(图1-8、图1-9和图2-2就是这样的例子)。有时候,它们的表现形态是静态的,区域所表示的不是一个系统的状态的集合,而是相似系统的同一种状态的集合。换句话说,平面上的点表示的不是**一个系统在不同时间的状态**——也就是所谓"历时视点(diachronic view)"——而是**不同系统在同一时间的状态**,也就是"共时视点(Synchronic view)"。两种视点所使用的工作方法相同,取决于科学上将对一个系统的连续观察转换为对相似系统的多个独立观察的一般方法,反之亦然。

① 指简单地理解赤道二字而不是理解为物理位置。——译者注

例如，图 6-6 源于国家科学基金会生态分析项目的报告。图中将世界上的所有地区按照两个变量的系统来表达，这两个变量就是：

（年平均温度，年平均降雨量）

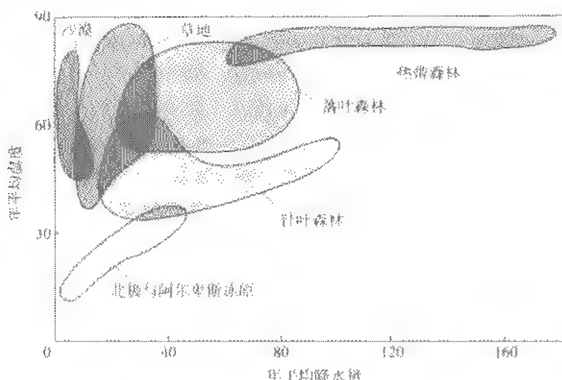


图 6-6　二维状态空间中由两个变量表示的 6 个生态群体

（源自美国国家科学基金）

因此，世界上任何地区都可以作为一个状态（或者一个点）画在图中，因为每一个地点都有对应每个变量的值。阴影地区分别代表观察到的动植物聚集地或者“生物群落”、三种类型的森林，草地，冻原和沙漠。我们立刻可以从图中看出，沙漠是炎热而干旱的——这是我们已经知道的，而冻原则是寒冷而干旱的——这一点未必是我们原来知道的。

这种表示方法的价值并不在于画在上面的是什么，而在于**没有**画在上面的。虽然万物皆有所在，但也可能有的所在空无一物，也就是说，尚未观测到的那些属性的组合。状态空间中的这些空洞提示我们：

1. 我们的观测并不完全，还有尚未观测到的其他状态。
2. 我们对于属性的分类过于宽泛。

第一种情况的经典案例是门捷列夫的元素周期表：是那些空洞导致了未知元素的发现。图 6-6 或许是第二种情况的案例，因为我们看到右下角是完全空白的。由于我们实际上假定该图表示地球上所有的实际存在的地

区，我们发现图中没有寒冷而湿润的地方——尽管我们对宾厄姆顿[①]、纽约都有这种印象。这种空白分类提示我们去寻找没有发现这种组合的原因，或者也许是提示我们去寻找分解属性的不同方法，一种统一的、能够将图填满的方法。

用这种系统化的方法描绘系统的状态，有可能使我们发现用其他表达方法无法发现的信息。虽然二维图表是最容易使用的，我们也还是可以使用具有三种属性的三维模型，这时状态集就不是通过区域而是通过体积来表示了，尽管行为还是用线条来表示。

我们的大脑结构使我们的视觉感受只限于三维——我们难以实际地看到“四维立方”或者人们创造的其他多维图像。非数学家们听到谈论 n 维空间的时候，常常敬畏地认为数学家们具有超级心智能力，而其实数学家们的特异心智只不过是他们具有**外推**的能力。他们的直觉并不能“看到”n 维空间，他们只是继续运用同样的数学运算而并不考虑具有多少维数而已。二维空间的一个点是通过两个数值确定的，三维空间的一个点是通过三个数值确定的，因此，通过推论，七维空间的一个“点”，就是通过七个数值确定的了。一个一维的对象，一个线段，将一个二维对象，即一个平面分割成两部分，而一个二维对象，一个平面，将一个三维对象，一个固体，分割成两个部分；因此，根据推论，一个六维对象将一个七维对象分割成两个部分。因此，我们并一定非要先描述七维对象后才能够谈论或者操作它。

如果 n 维空间中的一个点代表了某个系统的一个状态，那它就被称为“状态空间”。我们对状态空间进行想像的操作，相应的操作我们在二维或者三维的物理空间中也在使用。例如，为了对三维的身体进行显微观察而进行的切割产生了二维的切片，在 n 维空间中的类似动作就具有很多名字了——“切割”、“投影”、“降维”等，每一种都对应物理上的某种实际操作。由这类动作产生的空间相应地被称为“局部”、“投影”、“子空间”。

我们的仪器可能会强制我们降维（光学显微镜只能用于部分透明的材料）或者用作降低复杂性的一种方法——由于我们的大脑十分有限。例如，对于一架飞机的行为，我们通常把它三维的飞行路线通过投影描绘成二维的地图。我们的路径不是：

[①] 美国纽约州中南部的一个城市。——译者注

$$路径 = f(经度,纬度,高度)$$

而是：

$$路径 = f(经度,纬度)$$

投影后的路径可以看成是太阳直射到飞机上的形成的投影跟踪曲线，这也是用“投影”这个术语的缘由。很自然，多种不同的飞行路径会形成相同的阴影，或者投影，因为飞行的某些信息——即高度——在这种表示中被丢掉了。

如果我们考虑另外的投影，比如光线从侧面或者迎面射来，就会丢失不同的信息。但丢失信息并不意味着表示方法没有用。侧面投影，可以表示飞行过程中的高度，对于飞行计划中的飞机油耗计算就非常有用，因为飞机的油耗主要取决于飞机的高度。这样，在当前的关注点之外的变量就可以被“投影出去”从而减少观测者的计算压力。

当然，如果投影造成了信息的丢失，观测者在恢复投影时就可能犯错误。当我们关注经过投影用二维表达的三维图像，例如著名的尼克立方体(Necker cube)(图 6-7)的时候，我们通过补充对象所在世界的额外信息来补充丢失的信息。尼克立方体实际上非常复杂，因为我们无法在都很好的两种解释中选择一个，面前中心的那个点是在前面的那个面还是后面的那个面，而且如果我们长时间盯住图像的前面和后面还会颠倒。

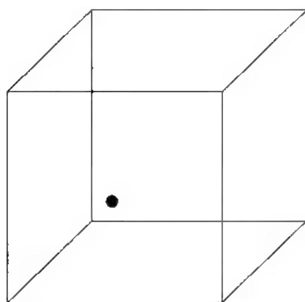


图 6-7　尼克立方体——三维图投影到二维

但是，如果尼克立方体真的是空间中一个线图形的投影，上述两种就不

一定是惟一的解释了，因为可能有无限个线图形都会形成这样的投影。这种无限性就是真实的投影的多义性——幻象本身恰恰就是疑惑是否存在着幻象。

图 6-8 说明了我们可能怎样愚弄自己。汉斯·埃里斯[8]在写到这幅图时说：

"从早期的学生时代开始我们就形成了某种条件反射，这就是通过识别染色切片的放大图像去认识现实世界。在一次科学会议上，我引发了一次关于剖面的空间解释的谈话，用到了一个幻灯片。我说：'先生们、女士们，我给你们30秒钟识别屏幕上的结构。我可以提示你们这是一个剖面。'做出反应的人几乎异口同声地说：'是纤维。'在真实世界里，这是弯曲的意大利宽面条。"



图 6-8 这是什么？

埃里斯认为这类反应是科学训练方面的问题，是完全正确的：

"按照常规看剖面的人很快就开始联系实际的物体来识别剖面了，

即使是投影在屏幕上的。我们的习惯不是说：'这是一个染色切片的投影图像，展示了植物脉道的斜剖面。'而是说：'这是植物脉道的斜剖面。'"

如果我们希望用显微学的东西做比喻，我们也得确信用正确实施的显微学来做比喻。从埃里斯这样的立体测量学家身上我们能够学到很多东西。我们至少可以学会要适当的慎言，从而也会导致我们在对于空间的思考也会持谨慎态度。意大利面条、尼克立方体、年老的青年妇女——都给了我们同样的启示，我们可以总结为如下的**图像法则**：

> **在谈到与维度降低相关的问题时，无论你想说的是什么，都在最后加上"……的图像"几个字。**

例如，如果说：

图 6-7 是立方体的**图像**。

可能就会比说：

图 6-7 是立方体。

少惹麻烦。

至少当我们这样说的时候就会提醒自己，就是有些信息被遗漏了而我们可能希望恢复它们。

如果要恢复由于投影而丢失的信息，我们就必须从其他渠道获得系统的信息，也就是关于消失的其他维度的信息。这种反向操作可以称为扩展，也是状态空间视点的一个重要价值之所在。不在于我们经常恢复丢失的信息，而是我们可能经常附加我们并不拥有的信息。如果我们一直在研究一个系统，并且发现我们的观点并不完整，也不需要将已经完成的工作完全抛弃，我们只需要为每个新发现的变量增加一个维度。我们过去的工作得以保留，因为过去的状态空间成为新的状态空间的一个投影，所以我们先前的观察继续成为有意义的解释。

例如，我们可能发现温度对于描述一个系统的行为非常重要，这点可能只有我们在常温下做了无数的实验之后才有可能被发现，因此在开始的时候我们没有意识到温度的重要性。通过实验得到的系统描述现在变成了系

统的一个特定的投影，是将温度控制在常量的情况下减少了一个温度这个维度。

如果没有控制温度，我们可能会发现在温度发生变化时投影发生不同的变化。尤其，我们可能发现表示系统行为的线自己会交叉——如果我们假定系统是由状态决定的——这就意味着我们的视点有问题。因为交叉表示从同一个点发射出两条路径，同一个状态有两个后续状态，交叉的行为线不可能表示一个状态决定的系统。

另一方面在投影中出现交叉也不代表该系统不是状态决定的。一个盘旋降落的飞机决不会回到具有同样（经度、纬度、高度）的点上，但其影子（经度、纬度）则可能交叉并且再交叉许多次。这一点导致了一个关于状态空间行为的经验法则——**历时法则**：

> 如果行为线自相交叉，则：
> 1. 系统不是由状态决定，或者
> 2. 我们看到的是一个投影，一个不完整的视图

我们可能不知道到哪里去找——居住在任何多于二维空间的居民，不知道到哪里去寻找来自第三维的访客。[7]然而，至少我们知道应该寻找，寻找是成功的一大半。

当我们用状态空间来表述**共时视点**时，我们就获得了某一特定时刻状态空间中点的一种静态分布。在这些点之间没有"运动"，我们无法用行为线来指导我们的思维。但我们可以通过与物理空间进行比较而确定一种经验的准则，在物理空间中，"同一时刻在同一地点不存在两个物体"，在抽象的状态空间中这种共时点（"在同一时刻"）规则可以不适用，但是如果我们对于正在研究的系统具有完整的视图，这个规则就可以适用。

我们可以把这条经验准则归纳为**共时原则**：

> 如果在同一时刻两个系统处于状态空间的同一位置，那么空间是因为维数过低，即视图是不完全的。

对于完全的视图，每个系统在空间中的位置都应该是惟一的，这也是最终我们说"完全"或者说"系统"的含义。

在图6-6中，我们注意到有些区域被一种以上的生态群落占据着。例如

在(60,30)这一点,就有针叶树森林、落叶树森林和草地。显然,这两种属性——平均温度和平均降水量——不足以用来区分所有的生物群落。与其说有:

$$B = f(T,P)$$

其中:

B = 生物群落类型

T = 年平均温度

P = 年平均降水量

还不如说应该是:

$$B = g(T,P,\cdots)$$

这样 $f(T,P)$ 就只是 $g(T,P,\cdots)$ 的一个投影了。还可能与其他哪些因素相关呢?状态空间不可能告诉我们更多的东西:也许有冬季最低温度,平均日照小时数,平均风速,有无人类活动,其中的任何因素或者全部因素都可能相关。提取这样的投影只是漫长而多变的过程中的第一步。

状态空间法能不能帮助我们解决具有 10^{100} 种状态的 OCCULT 系统行为问题呢?由于它已经划分成 100 个成员了,所以我们可以立刻采用 100 维的状态空间,但这对我们可能无济于事。我们有没有一些降低维度的方法?

我们的第一个想法是试试投影。投影就意味着将我们特别关注的几个成员挑选出来,实际上在图 6-3 中我们就是这样做的。但是如果我们只选出 2~3 个成员,那么大多数情况下他们都不会改变层级,而如果发生了层级的变化,那么这种变化会显得非常神秘而且突如其来。

但是,投影不是降低系统维数的惟一技巧。回想一下,刚开始的时候我们通过发现一些“属性”将一个复杂系统的单个行为线进行了分解,这些属性后来变成了状态空间中的“维度”。我们可以将上述过程反向进行,将许多属性结合成为数量较少的属性,其中保留了每个属性的一小部分而不是在投影方法那样将某些属性完全放弃。这样的过程被称为视点的**变换**,虽然所有的投影都是变换,但并不是所有的变换都是投影。这些变换,当然都是用状态空间方法看待世界时可以运用的隐喻。

仅举一例,如果将 OCCULT 俱乐部划分为两个 50 个成员的小组我们就可以将 OCCULT 系统降阶为二维。进一步,我们可以将每个组所有成员

的层级数值相加而得到一个数值，也就是将小组降级。由于我们使用了计算机进行系统仿真，我们就很容易地通过一个程序段来实现仿真：

4. $y = (d_1, d_2, \cdots, d_{50})$之和

5. $x = (d_{51}, d_{52}, \cdots, d_{100})$之和

6. 画出(x, y)的图形曲线

由此我们就可以看到图6-9所示的二维状态空间的轨迹了。尽管我们没有画出箭头，但轨迹运动的总趋势是向着原点(0,0)的，如果我们看着计算机一个点一个点地画图，就能够很容易地观察到。从这个意义上来说，OCCULT俱乐部的确是要走向虚无，然后就停止不变了——正像O'Teric先生告诉我们的那样。因此我们的仿真得到了部分证实，捕捉到了解释和行为之间的关系。

尽管这种变换方法抛弃了大部分信息，或者毋宁说，正是由于这种变换抛弃了大部分信息，我们了解了用其他视点看关于系统行为的某些东西不会如此明显。虽然前面我们对系统进行了仿真并且认为因此了解了系统的所有特性，但如果大法师没有预先提醒，我们可能还是不会意识到系统将不

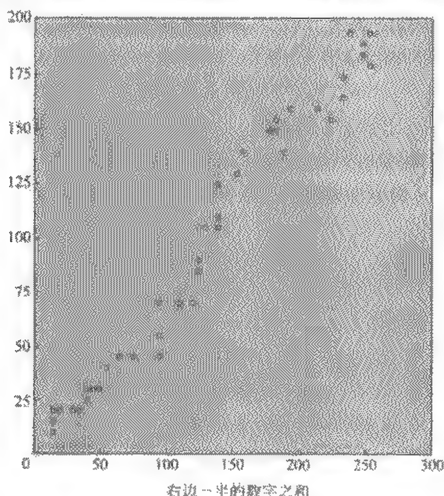


图6-9 OCCULT系统在"左一右"状态空间中的轨迹

可避免地走向(0,0)。

那么"白箱"分析又会得到什么呢？在图 6-9 中，我们注意到状态(0,0)，此处，两个小组各自的 50 位数字相加均为 0。怎么会是这样一个结果呢？只有在所有数字，d_1 到 d_{100} 全部为 0 时，其相加之和才可能为 0。那么这个虚无状态是如何达到的？又如何不再变化了呢？由于这个模型是一个相当程度的白箱，所以我们可以仔细检查其结构来了解这种静止不变的状态源于何处。我们发现，如果 j 的层级是 $X(0)$，那么他的新层级就总会是 X。如果某个特定的人变成了 X，就意味着其他任何人都不可能将他转换成为其他层级了。这样就可以解释为什么不会从(0,0)开始发生新的状态。

那么为什么状态首先是向着(0,0)变化的呢？假设选择了(i,j)，而 i 的层级是 $X(d_i=0)$，那么 t 是 0，无论前一个值为何 d_j 均被置为 0。最终，只要有一个虚无的人被选作某对人(i,j)中的老师，那么这一对就都变成虚无了。这样，虚无者被选为老师的可能性就变成了两倍，就会产生第三个 X。实际上，我们还真的不需要虚无者来启动这个过程，$5\times2=10$，$5\times4=20$，$5\times6=30$，$5\times8=40$ 都会产生 0，就是只要 5 与任何一个偶数都产生 0。也就是说，虚无者总会出现，一旦出现就会像鼠疫一样在俱乐部中蔓延，这也说明了将虚无者清除出去对 OCCULT 俱乐部也无济于事的原因了。

我们开始建立白箱时你注意到这个特性了吗？也许你注意到了，但大多数人没有。原因就在于我们搭建了一个白箱并不意味着我们能够看到所有的结果。一旦某个属性"浮出水面"，白箱能够将其"来源"分析透彻，但如果没有利用这样的变换对行为进行观察，我们也许根本就看不到某个属性了。

时间作为行为的基准

> 时间，流动的手
> 书写着光阴的故事，一刻不停留
> 你所有的虔诚与智慧，以及泪水
> 都无法改写或冲刷它的片言只语
>
> 《鲁拜集》(***The Rubaiyat***)

状态空间表达法的缺点之一就是在人的大脑中缺乏对 n 维空间的视觉想像力，尤其是当 n 大于 2 或者 3 时。更重要的是二维或三维空间作为沟通



媒介具有更大的缺陷。也许在自己的头脑中我们能够解决 n 维问题，但我们又如何能够用 3 维空间来与其他人进行交流呢？

投影和其他的变换方法能够帮助我们克服这些缺陷，但是迄今为止我们已经用到的状态空间的所有形式都还有一个劣势。正如我们在图 6-9 中看到的，我们感觉不到系统沿着一个轨迹移动时到底有多快。它是不是用了 50 步就到达了(0,0)？还是用了 5000 步？在一个航空地图上我们能区别一个每小时 600 英里的 747 喷气客机和一个每小时 100 英里的“Piper Cub”飞机吗？

看起来似乎自相矛盾的是，要解决维数过多的问题，办法之一就是再引进一维，即时间维。在所有可能的维度中，时间的一个简单特性就是总是沿着一个方向移动。换句话说，时间是不会重复的。例如，如果你注意到了音乐盒上小时钟，对它的状态描述就可以扩展成为：

$$S = (L,\ W,\ t)$$

由于 t 绝不会取两个相同的值，无论你的虔敬和心智如何，都可以完全消除圆圈或者任何形式的交叉。圆不再是重复已经经历的状态，而是在不**同时间**经历的**相似**状态。更为重要的是，由于对时间进行了**测量**，我们就可以区分各个速率不同的相似的圆圈。

吉姆·格林伍德(Jim Greenwood)告诉我，时间的这种单向性概念由于其可阐释的特性而被物理学家和其他学科的科学家们作为基础构架而确立。在其他文化，例如美洲印第安人的文化中，对于时间抱有一种更具循环性质的认识，对于我们的文化而言也并非陌生：

> *与其他老年人一样，她做每件事情的时候都是严格遵照轮回循环。这也是他们思考和生存的方式。星期一浆洗、星期三洗浴。也许星期一天上下着瓢泼大雨，她仍然会洗衣服——床单、衬衣还有其他什么东西。也许星期二艳阳高照，但星期一晚上，她还是会烧掉半数的煤来烘干衣服。我一次又一次地听到她说到时间：“如果我摆脱了这些日常规律，我也就完了。”*[10]

正如薛利(Shelly)所说的：“时间是我们对于头脑中一系列想法的感知。”[11]更为深层的是，我们的时间概念也影响我们思维的模式，在不同的情况下使用不同的时间概念，对于变化我们的视点是一种有效而且有力的工具。物



理学家将时间看做单向和独立的,就可以形成"频域"视点,从而认为所有的现象都可以由循环构成——这与美洲印第安人的观点相差不大。[12] 通过适当的练习,一个电气工程师就可以不可思议地掌握各种频域方程和图表,他沉迷于这种有个性的思维方式,就像来自阿肯菲尔德的英国老妈妈沉迷在每周的惯例中一样。

通过将我们的视点扩展到时间,我们获得了一个简单的技巧,可以在二维的纸面或者黑板上表达多维系统。在图 6-9 中,系统的状态是用两个变量给出的:

$$x = \text{右半部位数之和}$$
$$y = \text{左半部位数之和}$$

因此我们能够写成:

$$S = f(x, y, \cdots)$$

现在,假设我们加入一个时间维,就得到:

$$S = f(x, y, t, \cdots)$$

我们先将 x 然后将 y 投影出图像,就得到两个子空间:

$$Q = g(y, t, \cdots)$$
$$R = h(x, t, \cdots)$$

由于 t 在每个子空间中都出现,我们就可以按照时间将两个子空间并列,得到图 6-10 那样的视图。现在,行为的方向性就很明显了,行为的速率也很明显了,我们甚至还能够看到单独的 x 或者 y 还可能随着时间增加。更为重要的是,我们还可以用这种**时序图**同时表示两个以上的变量。

时序图是一种图组形式,因为它们是将多变量行为降低为可容易处理的表达形式的有效和实用的工具。图 3-2 给出了三个时序图。脑电图(EEG)就是活的动物大脑在特定点的潜在电活动的时序图。脑部不同点的数张 EEG 就比任何一张单独的 EEG 给我们带来更为完整的信息,即使我们没有还原成 n 维图像。与工商相关的指标大多也是用时序图的形式来表达的——股票市场的指数、零售业的库存水平、批发业的价格指数、国内生产总值等——经济学家们通过这些指标获得对整个经济系统的一个更综合的掌握。通过销售、库存、生产、成本等时序图我们就能把握某项具体业务的进程。为了对复杂的天气进行综合,我们画出随时间变化的各种行为,如风速、温度、降雨量、大气压、潮汐、冰河的移动……我们还有什么必要继续列下去呢?任何人都能够把这个明细单无穷尽地列下去。

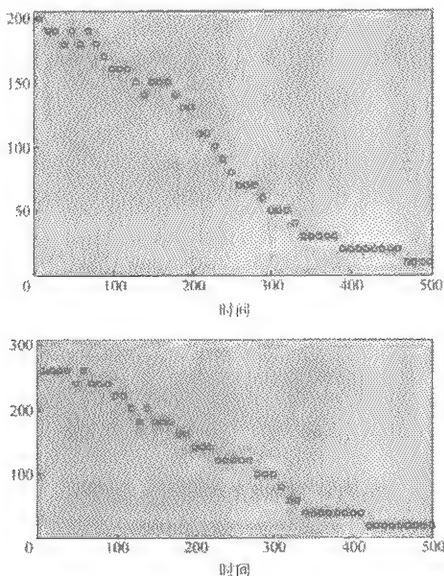


图 6-10　图 6-9 所示行为的时序图

时序图是一种通用的工具。似是而非地说，掌握一种强有力的工具的方法就是挖掘其弱点。因此，我们应用 **1—2—3 法则**：

> **如果你无法想出三种错误地使用某种工具的方法，就说明你还没有理解如何使用这种工具。**

坚守这个原则，就能够使我们免受种种完美主义者——乐观主义者、夸张主义者以及其他各种人——的狂热影响。当然在大多数情况下，还是使我们免受自己的狂热的影响。那么，究竟滥用时序图都有些什么样的情况呢？

请看图 6-11 中的两个时序图。上面的图，电气工程师叫做"阶跃函数"，其原因也是不言自明的，下面的图是一个一般的上升曲线，没有什么特殊的地方。现在我们再看看图 6-12，名称与前图一样，但是现在哪一个是阶跃函数呢？

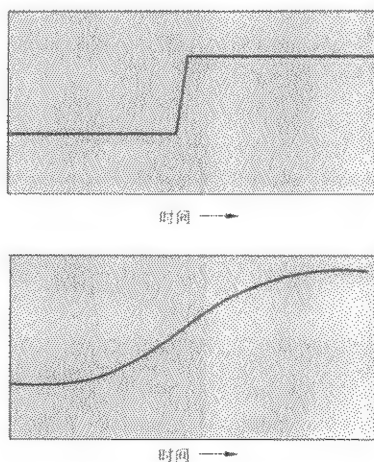


图 6-11 "阶跃函数"与"缓慢上升函数"

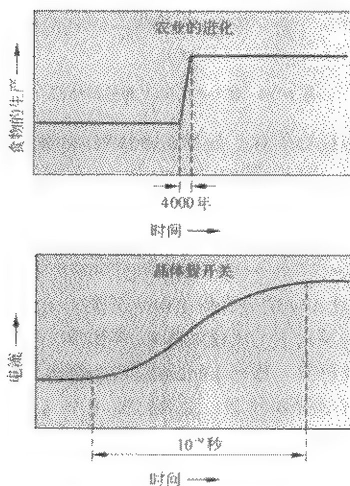


图 6-12 缓慢上升函数与阶跃函数

在没有明确**时间尺度**时谈论阶跃函数和缓慢上升曲线，在技术说上与胡说八道毫无区别。时间比例尺度也没有绝对的意义，只有与其他的时间尺度的相对关系才有意义。4000 年与人类的进化相比可以看做是一个阶跃函数，而对于高速计算机电路来说，10^{-9} 秒则可能是一个缓慢的上升函数。回忆起来有些好笑，1957 年在我们的计算机上安装了一个"零存取时间"的存储器，而"零存取时间"意味着百万分之 96 秒。到 1967 年，我们有了"低速"存储器，存取时间是百万分之 8 秒。由此可见，比"零"快 12 倍的是"低速"——当然是 10 年之后。当我们比较两个变量的行为时，时间比例最好是一样的。在图 6-10 中，x 和 y 的比例尺度不同，这可能导致错误的解释。但是它还没有引起严重的问题，因为对两者的"真实"度量值我们都不知道，我们也不知道两者在数量级上是否具有可比性。然而，时间，被认为是一种**普遍**的标准。

尽管我们能够体验"时间的感觉"，但这对于大多数科学工作来说都不可靠。因此，我们转而追求那些可以为其他序列提供比较依据的标准——例如时钟。时钟的缺席对于早期物理学的影响之深，是身处一个人人拥有精密的瑞士钟表时代的我们所难以体会的。伽利略肯定会愿意拿自己的左臂换一个时钟的。

在研究**历史**记录的科学中——宇宙学、气象学、生态学、考古学、地质学、古生物学等，获得可靠的"时钟"的问题与伽利略时代相比没有变化。有一段时间，用碳放射性测定年代成为众多年代测定问题的救星。随着复杂性的增加，人们逐渐了解到碳放射性测定方法远不是我们梦想中的统一时钟。[14] 当碳-14 模式自身的变化越来越明显时，整个理论都被扔到了科学的垃圾堆里去了——这就是对那些忽略时间尺度的差异性以及 1-2-3 原则的人们的教训。

即使时间尺度相同，时序图也有可能以许多微妙的方式误导我们。每朵玫瑰都是带刺的。正是时间隐喻极致的美隐藏了它最危险的陷阱。时间用标准尺度将变量**分割**开来，从而使得我们能够处理具有大量变量的系统。这样一来，就很容易使我们养成一种难以调整的感觉，即这些变量是独立的。既然**看起来**是分离的，我们的头脑就容易把它们想像成为独立的。

正如我们已经看到的，发现独立的变量能够带来思考的经济性。在变量相互不独立的时候，我们可以研究很少的变量，并且得出具有同样精确度



的预测。从一个动物的脑部可以提取成千个不同的 EEG，为了对其进行可行的分析，我们希望滤掉大部分无用的而只留下极少数——必要的时候可以从中推测出其他的。但是，由于使用时序图来简化我们的视图，我们可能不去注意相关性，因而又使我们无法进一步简化我们的视图。

通常，对系统特性的选择，就是在**独立性的便利性**和**完整性的必要性**之间进行折衷。我们用 OCCULT 系统作为例子来说明。我们的第一个视图（图 6-4）显然是完整的——我们对它的定义即如此——但我们难于从中抽取任何行为模式。当我们将其划分为两个相加之和的部分后（图 6-9 和图 6-10），降低了系统的复杂性，并从中发现了某些行为趋势。在这种变换中，我们是否丢掉了太多的东西呢？这最终取决于我们究竟想知道些什么。

我们还可以选择无数的其他视图。假设我们决定选择 10 个变量为一组，每个变量都是具有特定俱乐部层级的会员的数。例如，在图 6-4 的初始状态中，有 4 个 0，5 个 1，2 个 2，3 个 3，1 个 4，9 个 5，6 个 6，2 个 7，3 个 8，5 个 9（参见本章符号练习）。这个状态因此可以表示为：

(4，5，2，3，1，9，6，2，3，5)

从这种视点中，我们会发现系统行为的不同情形出现了，可以用 10 个时序图来表示，如图 6-13 所示[19]。

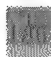
这 10 个变量没有构成一个独立集，因为我们发现，如果确定了其中的 9 个，第 10 个总是能够惟一地确定。如果我们没有进行仿真，而是从更高的层次上进行了观察，也可能已经从直觉上发现了变量的非独立性。我们可能注意到，当一个变量上升时，其他变量会下降。通过多次试验，可以将其写成更为精确的定律形式——一种守恒定律：

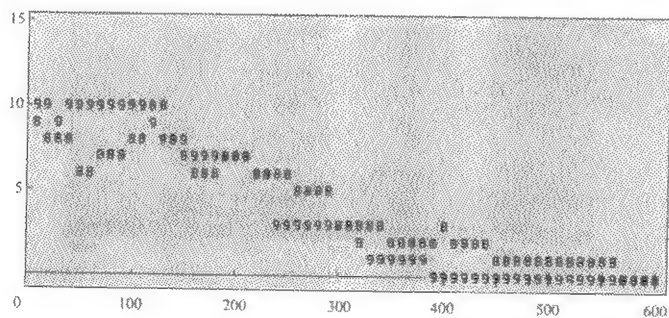
该系统的变量之和是一个常量(100)。

如果我们像科学家和发明家那样嗜好为事物命名，我们可以说我们的变量所度量的是"点元"。于是，我们可以将上面的定律用一种更加优雅的形式表述为"简单动力学第一定律"：

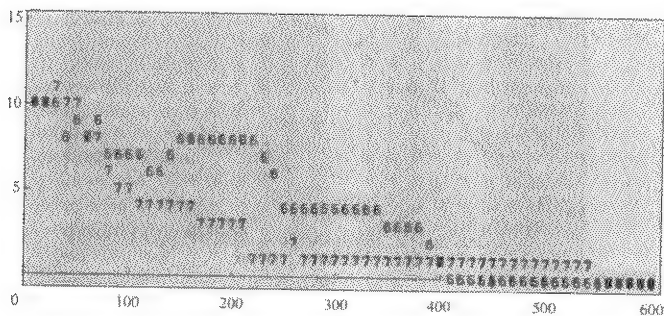
点元既不可能创造也不会毁灭。

不要被这个"简单动力学第一定律"的高雅形式所欺骗。这不是一个一般系统学定律，而是一个"特定系统定律"，描述的是我们的白箱从这个特定

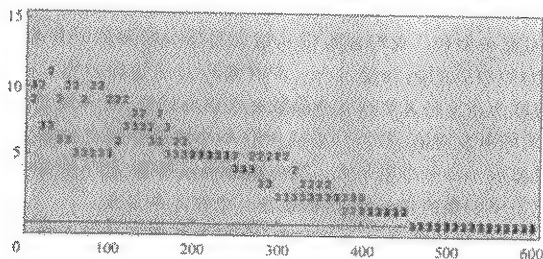




(a)



(b)



(c)

图 6-13　OCCULT 俱乐部会员的时序图

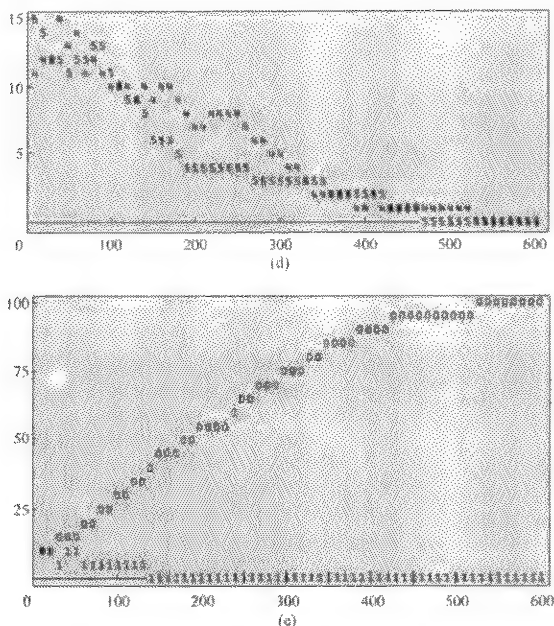
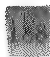


图 6-13 （续）

的视点上看起来如何。我们还可以从这个定律中挖掘出所有的秘密，只要我们不断的回到我们的白箱——一个解释所有问题的结构。在上述例子中，实验者称为点元的无非就是系统状态中数码的数，或者就是俱乐部会员的总数。实验所发现的，就是计算机内存中存放会员层级的单元如何改变其数值，总是有 100 个存储单元。从白箱的视点看来，这个定律实在有些无聊琐碎，但是从黑箱的视点看，这的确是一个真正的发现。

实验者之所以能够发现这个定律，是因为所选择的这个视点。这个定律在图 6-10 的视点中是不存在的，在那种视点中几乎不可能得出这样的结论。其他的视点可能会发现其他的结论，得到其他的特定系统定律。例如，假设我们不是对所有的层级分别计数而是将偶数层级一起计数，奇数层级



一起计数(参见本章符号练习)。前一种视点中的某些状态,例如,(7,15,8,12,10,8,2,19,9,10)就会变成新系统中的状态(36,64)——因为 $7+8+10+2+9=36$,而 $15+12+8+19+10=64$。

给定了这个视点,实验者要想不发现新的定律都不可能:第一个数字不会减少。对于我们来说,这个事实是乘法定律的简单推论(因为如果两个会员的层级都是偶数,新的层级肯定也是偶数),而对于实验者来说又是一种真正的发现。他可以将第一个变量命名为"偶元",并将"简单动力学第二定律"表述为:

偶元绝不会减少。

这个"定律"对采用10维状态空间的观察者也是存在的,但是可能不会这么容易地发现。观察者首先需要发现哪些状态变量代表"偶元",当他最终发现1、3、5、7、9应该加在一起的时候,会像阿基米德一样高喊"我发现了!",然后发表论文,一举成名,获得诺贝尔奖。

可以这样认为,科学就是不断地探索从哪种角度看问题能够发现不变定律的一种过程。因此科学定律就是对于世界看起来如何描述(我发现了),或者是对于如何看世界的验方(如何发现)。我们实在是无法区分出这两种定律。

开放系统中的行为

> (热力学)第二定律意味着**拘禁而死**……生命时时受到这个死刑宣判的威胁。避免这种命运的惟一方法就是防止拘禁……拘禁的隐含着存在完美的高墙,它们是构筑理想的封闭环境所必须的。但是,对于高墙的存在可以提出十分重要的问题。难道我们真的知道有什么办法能够构筑一个防止射线穿过的高墙吗?理论上这是不可能的,而在实践中,在物理和化学实验室中,能够容易地做到。
>
> **L. 布里尔欧恩(L. Brillouin)**[18]

为什么物理和化学实验室要构筑理想的封闭环境呢?为了创造用于研究的状态确定的系统。那么又为什么要研究状态确定的系统呢?因为状态确定的系统其行为是简单的。系统发生的所有事情都通过不相交叉的行为线表达了系统自身。

当然，观察者能够带来差异。他可能在不同的时间看到了同一个系统的不同的行为，于是他看到的是行为线的不同部分。虽然太阳每天都在升起，但如果我们中午才起床就不可能见到曙光。第二个观察者可能看到不同的行为，因为他对系统进行了不同的界定，或者分离了不同的特性，或者采用了不同的时间尺度。甚至同一个观察者在不同的时间也有所不同，因为没有任何理由阻止他改变界定的范围、分离的方法或者时间尺度的大小。

但是，如果观察者考虑到所有这些问题，并且成功地将系统孤立在完美的高墙之内，行为线仍然可能是缠绕的，在这种情况下他会说他遇到了“随机性”。然而，观察者无法找到可靠的方法来区分随机性和隐藏着的开放性——就是“漏缝的高墙”。也许，高能量的宇宙射线以不规则的间隔偶尔射了进来，也可能是小精灵半夜溜了进来摆弄了他的仪器。

状态确定的系统的特性可以通过这种关系来表达：

$$S_{t+1}=F(S_t)$$

根据眼—脑定律，S_t定义为涵盖了过去的行为。“随机”系统的特征是：

$$S_{t+1}=F(S_t,\ \cdots)$$

其中，“其他的某些东西”对于观察者来说是未知的。我们也可以说：

$$S_{t+1}=F(S_t,\ R_t)$$

用 R 来表示随机的“其他的某些东西”。这个形式也正是我们可以用来表示**开放**系统的形式：

$$S_{t+1}=F(S_t,\ I_t)$$

其中 I 表示输入，即来自系统外部的某些东西。根据无关法则，我们知道称为 I 还是 R 无关紧要，因此我们从现在开始假定 R 也是“来自于外部”。然而，根据差别法则，我们知道这样的用词会使有些人不高兴，但是他们还是得闭嘴。

在这种观点下，所有系统都是状态确定的。有限的状态确定系统的每一个行为线都必须终止于一个或者多个状态的循环。为什么？因为如果系统的状态是有限的，最终总有一个状态——不妨称之为 S_r——会第二次到达。根据公式，我们知道随后的 S_{r+1}：

$$S_{r+1}=F(S_r)$$

S_{r+1}应该和上一次 S_r之后的状态相同。类似地，S_{r+2}、S_{r+3}等必然也是相同的，从而构成循环。

循环正是状态确定的系统行为的特征。但我们看到构成循环的系统时，我们就可以考虑目前它没有受到外部因素的影响。当然，它可能受到了**循环的外部因素**的影响，也可能是外部因素过于**弱小**无法打破这个循环。每当我们"头痛得无法入睡、焦虑得难以平静"的时候就会出现重复的梦想或想法，这表明我们没有足够的外部输入使我们走出循环。我们甚至都难以自觉地打破循环，因为打破循环所需要的思想并不包含在循环当中。只有当汽车紧急刹车的刺耳声，或者猫挠垃圾箱的声音，才构成了足够强大的输入，使我们彻底醒过来，从而从状态确定的惨境中解放出来。

因而封闭系统的构想是一种有益的经验工具。如果我们看到了非循环的行为，我们就会寻找输入。另一方面，如果坚持认为系统是封闭的，但又是"随机"的，我们就会说**寻找**其他的输入是**没有用的**。许多科学家不愿意承认系统是开放的，所以有时候就用谈论随机性来节省劳动或者挽回面子。那样的话，我们就可以不必承认我们的观点是不完整的，也不必解释我们不去寻找输入的理由了。

如果状态确定的系统被分解称为"系统"和"环境"两部分，那么一般来说"系统"部分就不再是状态确定的了。例如，你逐渐熟悉了你的第一个音乐盒，你会认为它的状态是这样的：

$$S = (R, G, W)$$

如果你不去碰音乐盒，这可能就一直是正确的。这种观点对于状态确定性来说似乎已经足够完整了，因为你看到了循环。

矛盾的是，我们用骑士向心爱的女士求婚般的热情寻找状态确定性，但是一旦我们找到了我们的梦中情人，就会像骑士一样立刻失去兴趣。确定的状态完美得毫无情趣，于是你踢了音乐盒一脚，将其状态描述转换为：

$$U = (R, G, W, \text{敲})$$

根据无关法则，可以将其看做新状态，也可以将老的状态改写成为：

$$S = (R, G, W)$$

$$S_{t+1} = F(S_t, \text{敲}_t)$$

在没有敲打的时候，"敲(Kick)"的值是零，Kick 也就是一个无害的符号。按照这种观点，对下一个状态——也就是下一个循环——的确定，"敲"(Kick)可以看做担当了某种**选择性**角色。

处于我们对于简单性的热爱，我们倾向于认为系统具有单一的行为线，



对此我们简单地称为“系统的行为”。然而，开放系统并没有单一的行为线，而是具有一组“指令系统”，具体的表现取决于输入。因此，开放系统具有较低的确定性。

谈到开放系统，我们必须重申是谈论系统的特定行为，尽管我们希望用某种方式来表示行为是一组行为。例如，当父亲阻止约翰在卧室的墙上涂鸦的时候说：“我不喜欢你的行为，孩子。”父亲使用了行为的最基本的特定的意思。而如果老师给约翰的行为打分为F的话，[①]那这则是对于整个行为的评定了——至少是对约翰在学校所表现出来的所有行为的评语。

在封闭系统中，定律的一般形式是：

如果系统是封闭的，那么行为是……

在开放系统中，定律的一般形式是：

如果输入是这样这样，那么行为是……

通过将一组行为特征与一组特定输入相联系的办法，我们可以将开放系统的定律一般化为如下格式：

如果输入是下述……中的一种，那么行为是……

或者

如果输入是下述……中的一种，那么行为在行为集……之中。

例如，如果我需要从自动售货机中买一个25分钱的糖果棒，我可以投入1个二角五分的硬币，或者2个一角、1个五分的硬币，或者1个一角、3个五分的硬币，或者5个五分的硬币。上述任何一种输入，都会得到相同的输出——一个糖果棒。自动售货机“内部”的机制我们可以通过条件运算在计算机上进行模拟：

1. T = 上次出售糖果棒之后投入的总硬币值。

2. 如果 T = 0.25 美元，那么给一个糖果棒。否则等待投入更多的硬币。

能处理更复杂行为的自动售货机必然备有更复杂的程序来决定对应每

① 即不及格。——译者注

种输入的做法。例如：

1. T = 上次出售糖果棒之后投入的总硬币值。
2. 如果 T 大于 0.25 美元，那么找出零钱并使 $T = 0.25$ 美元。
3. 如果没有足够的零钱，那么

   退还投入的硬币

   将 T 设置为 0

   打开“无零钱找赎”显示灯
4. 如果 $T = 0.25$ 美元，那么释放选择按键并等待选择。
5. 如果选择是甘草糖，给出甘草糖。
6. 如果甘草糖是空的，则退回硬币……
7. ……

显然，这样的程序可以无限扩展以便使机器能够产生任意的行为。

我们的 OCCULT 系统同样也是一个开放系统，由仿真程序对输入对 (i,j) 的选择所决定。因此，我们所看到的行为取决于在我们观察期间，仿真程序所选择的输入序列。我们的期望是，如果从同样的初始值开始对系统进行多次仿真，尽管我们并不改变我们观察的特征，也能够看到任何不同的行为。

如果我们看到的行为具有明显的不同，我们就会疑惑不安，感到难以理解系统——就像约翰的老师无法理解为什么一年的时间里约翰都安安静静地坐着，而在一个星期五放火烧了学校图书馆一样。老师感到很难归纳约翰放火的行为是怎样的特征，于是给了一个 F 分。尽管约翰一年的时间里都是一个模范学生。

老师根据一个孤立的行为作为约翰的整个行为特征的做法是我们简化开放系统的行为的一种办法。有时候我们对一个人的行为特征的判断是根据他大部分时间里的表现——例如“教授”、“美食家”、“高尔夫球手”等。在约翰的例子中，我们则是选择一个意外的行动作为行为集的代表。

在一般的谈话中，我们把说只说过一次谎话的人叫做“说谎的人”，但是我们没有一个词来称呼总是说实话的人。还有一些贬义的词，都是表示某种标志性的行为的：谋杀者、盗用公款的人、输家、骗子、罪人、通奸者、醉鬼。这些词汇的存在与使用表明了人们特别渴望确定行为。

如果一个人谋杀了妻子，他就会被判终身监禁，这样他就无法再向其他

的无辜者犯同样的罪行了。因此此人的行为是状态确定的，这种惩罚本身是将此概念化认识的具体化，人们相信在循环的下一个时间点，这个"谋杀者"还会再次谋杀。然而，现代精神病学认为，所有的人都不会谋杀再次谋杀——上次的谋杀是由环境决定的，是由于烦恼咬坏了这个懦夫30年的控制能力而造成的。当然，也会有其他的行为被划分到"谋杀者"的名义之下，所以这种决定的方法就不是那么残酷和不恰当了。也正是由于其他的"精神变态"的谋杀者，形成了我们的法律和概念。

肯定还有许多系统，也都需要而且也适于根据一种特定的行为线来决定整个行为集的特征。如果一个工程师设计了一座"5年之内不会塌陷一次以上"的桥，我们会怎样看这个工程师？换言之，无论系统的其他行为会引起我们多大的兴趣，我们通常更希望知道系统表现出我们未曾观察到的而且会带来重大灾难的行为的机会有多少。毫无疑问，如果我们允许桥梁几年之中塌陷一次我们造桥的成本会大大降低，但一般情况下，桥梁的建造成本中一大部分是花在使桥梁塌陷的可能性降到足够低这点上了。

出于对意外的畏惧，我们通常都要对系统观察一段时间之后才愿意对其整体行为做出陈述——只有极其年轻的人才会认为搭一次顺风车就认识了一个人。我们的观察所需要的时间通常取决于多种因素，但主要取决于我们的期望，而期望值又基于我们对于相似系统的经验。如果收到了一个发出沉重的嘀哒声的盒子，无论已经观察了多久，我们还是可能怀疑这个盒子马上就会有点什么特别的行为要发生了。如果盒子中真的有一个炸弹，无论我们观察多久都不会知道炸弹何时或者会不会爆炸——因为定时炸弹的基本原理就是由于它不连续的行为我们无法了解炸弹的能力。

根据典型行为和根据意外但重要的行为判定系统的特征是我们在封闭系统中试图发现单一的行为线的两种传统方法。另外一种技巧是取平均行为，历时平均——"炎热的夏天"或"潮湿的冬天"，或者共时平均——"神经质的家族"或"不可靠的牌子"。事实上，为了将开放系统的行为转换成确定的形态，我们可以使用任何抽象方法。如果上述方法无法使我们获得成功，我们还有最后的秘密武器：我们将行为的特征描述为"随机的"、"适应性的"、"不可预测的"、"疯狂的"或者"古怪的"(意味着"疯狂但富有")。这样我们就能够总是成功地将行为整体简化成单一行为。

而且，为了简化行为整体，我们还要让无能的观察者靠边站。我们不是



去想像系统具有单一的行为，我们是确保如此。就像黑社会老大说的"不行也得行。"虽然我们无法断定嘀嗒的盒子中是否有炸弹，我们可以简单地将盒子泡到一桶水里。盒子泡到水里就能够保护我们，是因为盒子在某种程度上是一个开放系统。根据其环境不同，它会表现出某一种行为。由于我们既可以作为观察者，也可以作为环境出现，我们就既可以预测其行为，也可以影响其行为。但即使这样，我们仍然无法分离这两种角色，因为我们无法知道盒子里面不是一个由湿度触发的炸弹：

1. 如果湿度水平很高，那么闭合开关。

开放系统难倒了我们，于是我们喜欢可能将我们的系统考虑成——或者创造成——封闭系统。开放性是一个谜，它使预测和观察复杂化，但同时，它又使我们能够通过对系统施加行动而预测它。在我们继续研究这个悖论之前，让我们通过OCCULT系统来考虑系统行为被其初始状态影响的一面（状态确定的部分）和被输入序列影响的一面（开放系统的部分）。

不定法则

> 难道你不知道圣经中的教诲？法则在上帝创造时间之前就已经被写过914代了。但它不是写在羊皮纸上，因为那时还不存在能提供兽皮的动物；也没有写在木头上，因为那时还没有树木；也没有写在石头上，那时还没有石头。它写在主的左臂上白色火焰的黑色火苗上。正是在这神圣的法则中，我想让你知道：上帝创造了世界。
>
> **尼可斯·卡赞查基斯[16]（Nikos Kazantzakis）**

尽管OCCULT俱乐部还不完全是我们的世界，但我们的世界也需要一个开始的地方。俱乐部的发起在我们的仿真之外，就是说，开始的100个会员及其层级是仿真开始之前选定的。无论他们是如何选定的，开始状态都会对以后发生的事情产生影响。如果输入是随机的，那么大部分可能的开始状态，像（13，12，8，15，7，16，5，4，8，12），表现出来的行为都会与图6-13十分相似。例如，图6-14是从完全不同的状态开始、由另外一个随机输入序列得到的，但是很难看出与图6-13有多大的区别。的确似乎有一些规律性的东西使系统达到虚无状态：（100，0，0，0，0，0，0，0，0，0）。



如果一个系统具有这样的特性，即几乎无论初始状态和输入序列如何，系统都将到达相同的最终状态，该系统就被称为"同终"系统。对行为的一致性和观测结果特征简化的需要，使我们对同终端系统产生兴趣。当然，有时候我们也对系统**如何**到达其同终状态感兴趣，尽管这并不是在所有情况下都是一样的。光荣之路皆通向坟墓，但光荣之路各不相同才是使生活充满情趣之所在。我们之所以被等效性(egaifinal)所吸引是因为这表明过程中有某种结构使输入能够作用于系统。

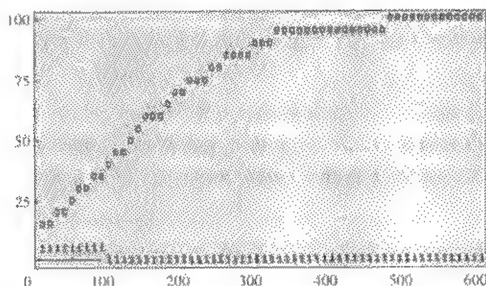


图 6-14　OCCULT 俱乐部会员的时序图

但是，必须注意到，在我们对等效性的定义中，有"几乎无论……如何"的字眼。我们肯定可以阻止 OCCULT 俱乐部达到同样的最终状态，只要我们选择初始状态为(0，50，0，0，0，0，50，0，0，0)，即全部是 1 和 6。在这种情况下，随机输入对将把系统带入状态(0，0，0，0，0，0，100，0，0，0)，因为只有 1 和 6 才能通过以下步骤得到 1 和 6：

2. $t = d_i \times d_j$

($1\times1 = 1$；$1\times6 = 6$；$6\times1 = 6$；$6\times6 = 36$ 而取最后一位时又得到 6)。这个行为表示在图 6-15 中，图中只画出了 6 和 1，因为其他的数位都是 0。最后，6 将 1"赶"了出去。

还可以考虑开始时只有奇数层级的情况——1，3，5，7，9，例如状态(0，20，0，20，0，20，0，20，0，20)。在没有 0 和其他偶数的情况下，最终是 5 成为主导，状态最终变成全部是 5——(0，0，0，0，0，100，0，0，0，0)——如图 6-16 所示。

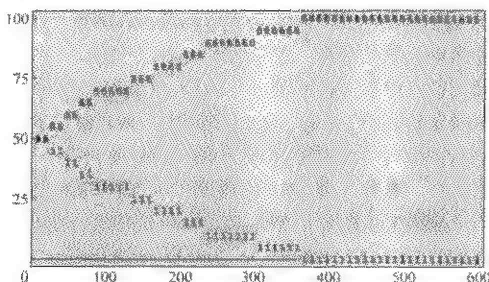


图 6-15 OCCULT 俱乐部会员的时序图(SV)

通过研究白箱结构，我们确定具有一个以上的等效状态。任何时候只要一保留下来，最终状态一定是确定的，因为 1×1 =1。进一步，由于 9×1=9，而 9×9=81(在我们的算法中也产生 1)，一旦我们只有 1 和 9，就不会再产生其他的数字了。这个只有 1 和 9 的区域可以通过只有 1、3、7、9 的区域到达，因为这四个数字都只能产生他们自己。于是我们发现，初始状态不包含偶数和 5 的成员，就会得到一个只有 1 和 9 的状态，而这个状态又会进一步达到一个只有 1 的状态，这个结果应该使O'Teric先生感到无比欣慰。

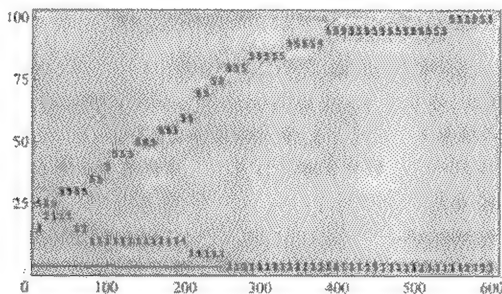


图 6-16 OCCULT 俱乐部会员的时序图(SVI)

结论是，OCCULT 俱乐部具有四种不同的等效状态，一旦达到就不会再变化，如图 6-17 所示。注意，"导致相同的等效状态"的关系满足了反身性、对称性和及物性条件。因此我们可以将系统划分成四个独立的区域，与

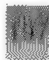


图 6-6 将(温度,降水量)状态空间划分成为六个生态群的方法几乎相同。我们可以根据等效状态对这四个区域分别命名为——SX、SI、SV、SVI。

如果不知道这个白箱的内部结构,而我们又观察到许多从其特殊的输入状态开始的俱乐部,我们可能会说有四种或者四类俱乐部。俱乐部的种类是由其初始状态决定的,但我们不知道俱乐部到底是哪一种,除非我们看到其到达最终状态。换句话说,我们知道哪个是知更鸟的蛋哪个是蜥蜴的蛋是因为我们看到哪个孵出了知更鸟哪个孵出了蜥蜴。其实在开始孵蛋之前这是已经确定了的,但在小动物出壳之前我们无法知道。最终,我们通过每个种群的其他特征进行识别,而不用等到最终结果出来之后才知道。

符号	等级状态	初始成员
SI	(0,100,0,0,0,0,0,0,0,0)	没有Ⅴ、Ⅹ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ中成员
SV	(0,0,0,0,0,100,0,0,0,0)	至少有一个Ⅴ中的成员,没有Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ、Ⅹ中成员
SVI	(0,0,0,0,0,0,100,0,0,0)	没有Ⅹ或Ⅴ中成员Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ中至少有一个成员
SX	(100,0,0,0,0,0,0,0,0,0)	Ⅹ中至少有一个成员或Ⅴ中至少有一个成员而且Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ中有一个成员

图 6-17 OCCULT 俱乐部的四个"种群"

那么每一类俱乐部我们要观察多少呢?哪一个是一类(SI)哪一个是五类(SV)?用状态空间的术语来说,就是任何一个俱乐部初始会员状态在每个区域的机会是多大?这个我们无法说清楚,因为在 O'Teric 大法师选定他的初始会员时我们没有坐在他的右手上。如果选择是随机的,那么成为 SX 盒子的概率是 0.999 999 999 9,SVI 的概率是 10^{-10}、SV 的概率是 10^{-30},SI 的概率是 10^{-40}。因此,如果 O'Teric 先生是随机选择的,我们就看不到虚无主义(SX)以外的俱乐部,而且会满足于说虚无主义就是系统的行为。但是 O'Teric 先生是大法师,可以按照他的意愿进行选择,所以我们可能看到任何类型,我们对于系统的想像也会大相径庭。这就是系统的初始状态可能发生的影响。

为了研究输入序列的影响,我们暂时将注意力集中在虚无主义类型上,这个类型中随机输入最终将把所有成员变成层级 X。我们不考虑像

O'Teric先生那样的随机输入为何物的问题,先来看看如果输入不是随机的系统会有怎样的行为。第一种情况是,将输入限定为学生的选择保持相同,而老师的选择是随机的。因为只有学生的层级会变化,既然只有一个成员会改变层级,所以俱乐部经过的各种状态都不会离初始状态太远。从图6-13的状态开始,俱乐部永远不会达到SX,即使初始状态还是在这个区域中。如果鸟蛋掉倒鸟窝外边,知更鸟是不会孵化出壳的,如果O'Teric先生能够控制老师和学生的选择,俱乐部就不会化为虚无。

其他的非随机输入——不是那么明显——也能防止系统达到SX。例如,在某一次计算机仿真中,用来产生"随机"序列的算法偶然地将某些数字排除在j的选择范围之外,在**那些**位置上的会员永远不会改变层级,所以SX曾经**达到过**,但是没有保持住。事实上,正是系统没有到达SX揭示了输入的非随机性。

更多的非随机性具有类似的效果,或者是在输入中排除某些数对,或者是排除某些输入**序列**。另外一个计算机仿真实验产生了一个不包括所有可能的会员对的序列,尽管允许所有100个会员都可以被选为老师或者学生。在这个例子中,除非数字12、13、37、82和94中的一个被选作老师,否则上述数字不会被选作学生。在第一个随机的初始状态中,会员13是V级,其他有一个是偶数级,所以所有的五最终都变成了X。在后续的初始状态中也表现出相似的行为。然而最终还是生成了一种初始的会员状态,其中五个会员中没有一个是X或V。经过很长的仿真之后,出乎我们的意料之外,没有形成虚无主义——直到我们发现了输入算法中的非随机问题。

对于不了解系统的完整知识的观察者,可以达到两种同样合理的结论。要么对系统的输入是非随机的,要么有一个五人小派系在抵抗输入的行动,或者至少与俱乐部其他成员的行为不同。实际上我们可以创建一个仿真,随意地阻止会员(12,13,37,82,94)成为学生。在程序里需要这样一个语句:

3. 除非j是(12,13,37,82,94)之一,则

$$d_j = t \text{ 的最后一位数字}$$

这样的仿真与前述的特殊分割的输入之下未加如此区别的系统具有同样的行为。

通过类似上述的考虑,我们可以推导出一个基于最为一般的背景的重

要法则——不确定法则：

我们无法准确地将观察到的约束归结于系统还是环境。

在特定的情景中，我们做的或许比法则所说的还要糟糕，因为观察者自身甚至都在引进约束。爱丁顿（Eddington）提供过一个观察者引进约束的经典案例。观察者描述了一艘想像中的海洋学考察船，在对通过渔网捕获的标本进行分类时，得出结论说海洋中不存在身长在3英寸以下的生物。①

观察者当然是环境的一部分，所以我们对于不定法则包括观测者而感到惊讶。在科学史中可以发现许多"3英寸网格"的案例。尤其在医学史上，在处理复杂系统时将观察者（诊断医师）和环境（临床医师）两个角色混淆起来的案例更是举不胜举。

来看看亚历山大·伍德（Alexander Wood）。他于1855年发明了第一个皮下注射针，并用皮下注射吗啡缓解头部神经痛。他用这种方法获得了极大的成功，但他却认为只有在痛点附近注射才能缓解病痛。由于吗啡**无论在何处**注射都会缓解疼痛，所以即使他对注射点进行了限制也还是在缓解病痛方面取得了成功。但是当一位妇女头部疼痛时，他却抱怨头上无法注射而让那位可怜的妇女继续遭受痛苦。他的理论使得他从来没有想到过在别处注射。

直到1858年，才由查尔斯·亨特（Charles Hunter）发现了在未发病处注射吗啡具有同等的缓解效果。最有可能的是，亨特比伍德具有更加无拘束的思想才有了这样的发现，因为他（当时）还没有背上发明的包袱。但是正是亨特发明了"皮下注射"这个名词，很快亨特也被父亲的荣誉遮住了眼，阻碍了孩子的降生。[17] 现在，我们当然知道"就近注射"是一个较差的想法——但我们是否真的知道？是否曾经进行过试验？

科学中未经验证的假设之多令人惊讶。每一天我们都可以随手打开刚到的杂志看到关于新发现的报道，而这些"发现"只是将观察过程中的某些约束条件放宽就可以做到的。下面是《科学》[18]（Science）杂志中的一个例子，我们先看看概要：

在热带和亚热带的印度洋太平洋地区有一种腹部能够发光的小

① 三英寸是渔网网格的尺寸。——译者注



鱼。一项试验分析支持这样的假设，那就是鱼的这个发光系统在白天发光，使鱼与背景的光一致，从而使鱼的轮廓变得模糊一些。

这是一个很简单的适应机制，但为什么以前没有发现呢？毕竟，作为发光的鱼还是有一些特别的事情的。对此，作者解释道：

> 因为在生物发光的研究领域一般的观察都是在夜间进行的，在实验室中则是在暗室中进行，所以日间发光的可能性逃逸到我们的注意力和兴趣之外就没有什么可奇怪的了。

由此可见，从 1855～1971 年，这种还没有发生多大的变化，不定法则似乎依然成立。我禁不住还是要再举一个我自己的领域——计算机方面的例子。不仅科学定律由于误置的约束而受到困扰，在计算机工业的领域里，不定法则每天都在成千次地证明自己，世界各地皆如此，下面的例子可以为证。

在本章开始时，我们对数字计算机的仿真能力是赞誉有加的，但是如果我们不说明计算机也并不总是像我们所描述的那样简单，我们就会犯片面性的错误。例如，当我们为了仿真 OCCULT 系统而编写一段程序时，计算机并不总是去做我们想要它去做的事情，通常这是由于我们的程序有错误。另一方面，计算机本身也时常不能按照要求去做。这时，我们就说“运行不正常”，相对于“程序错误”而言，发生了“机器错误”。

机器是程序运行的环境，但有时几乎不可能判断是机器出错还是程序出错。由于现在机器很少出错，所以一般都会诊断为程序出错。如果这个诊断错了，就意味着会在程序中查找错误上浪费大量的时间。

在我们的例子中，有两个程序员，在花费了好几个星期时间寻找一个时有时无的错误的来源之后，确信错误出在计算机上。他们找来工程师，并且对错误的来源进行了争论，最后工程师同意在硬件上找问题。他们打开了机器盖子，趴在上面看着机器的内部构造。打开盖子对工程师们不是什么大事，但仅仅看是找不出问题的。

工程师运行了所有的诊断程序，认为错误在程序中，因为测试程序运行得很好。工程师们离开以后，程序员又一次运行了他们自己的程序，还是失败了。因此，他们也确信，错误的确出在自己的程序上。

唉，这个过程还会循环，最后程序员们还会再次确认错出在机器上，工

程师们还会再次打开机器盖子，发现机器没有错误。重复三次，每次都是同样的结果。终于有一天晚上，程序员发现他们的程序正常工作了。

什么东西发生变化了吗？时间不同？这肯定不是原因。也许会有这种情况：当人们站在机器旁看着程序像八音盒一样完美运转的时候，保洁工干完了活把桌子推回计算机旁边的一刹那，程序又停止了运行！

参考读物

推荐阅读

1. Hans Elias, "Three-dimensional Structure Identified from Single Sections." *Science*, **174**, 933 (3 December 1971).
2. Herbert A. Simon, "Understanding the Natural and the Artificial Worlds." *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969.

建议阅读

1. P. W. Bridgman, *The Way Things Are*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1959.
2. Edwin A. Abbott, Flatland. *A Romance in Many Dimensions*. New York: B&N Press, 1963.
3. John M. Dutton and William H. Starbuck, Eds., *Computer Simulation of Human Behavior*. New York: Wiley, 1971.

符号练习与答案

符号练习

1. 构造一个更为精确的算法计算图6-13的观点。
2. 如何修改练习1中算法使其能够对偶数位和奇数分别相加——从而演示“偶元定律”？
3. 假设有一台糖果的自动售货机，只能接受25美分的硬币作为输入，但是允许选择10、15、25美分的糖果。给出如何能够用一个算法表示此自动售货

机的找零逻辑。

符号练习答案

1. 程序类似于这样，用 v 表示一个 10 个数的集合(v_0, v_1,…, v_9)，用于计算任何时刻的十个求和数：

   (1) 对 $t = 1, 2, 3,$…无限重复第 2～7 行

   (2) 计算下一个状态

   (3) 置 $v = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$

   (1) 对 $i = 1$ 到 100，重复第 5～6 行

   (5) $k - d_i$

   (6) $v_k = v_k + 1$

   (7) 画图 (v_0, v_1, t),…(v_8, v_9, t)

   注意，我们在第 2 行的写法假设已经给出状态变化的确切算法。这是分解法的一种应用，在计算机中称为“子程序”。

   还注意到，画图时是将求和对于时间 t 一起画的，因此只有五幅独立的图，如图 6-13 所示。

2. 在上述程序中，可以将第 3～7 行改写为：

   3. 置 $v = (0, 0)$

   1. 对 $i - 1$ 到 100，重复第 5～6 行

   5. $k = d_i$

   6. 如果 k 是偶数，则 $v_0 = v_0 + 1$

      否则 $v_1 = v_1 + 1$

   7. 画图 (v_0, t)，(v_1, t)

3. 程序大致为：

   (1) 接受 25 美分硬币以及糖果选择 s；

   (2) 如果 s 为空，则退回硬币，并终止；

   (3) 如果 s 为 10 美分糖果，找回 10 美分和 5 美分硬币：

      a. 如果没有 10 美分和 5 美分硬币，则亮“无零钱”灯，退回 25 美分硬币并终止。否则，给出糖果。

   (4) 如果 s 为 15 美分糖果，找回 10 美分硬币：

      a. 如果没有 10 美分硬币，找回两个 5 美分硬币；

      b. 如果没有两个 5 美分硬币，则亮“无零钱”灯，退回 25 美分硬币并终止。否则，给出糖果。

   (5) 如果 s 为 25 美分糖果，给出糖果。

思考题

1. 自然生态系统

图 6-18 取自一篇关于世界植物能量模式的文章[19]。它用二维形式给出了一个三维状态空间，有些信息与图 6-6 相同。讨论这种视点下的各种关系，并探讨用其他方法分解同样的数据的状态空间图。

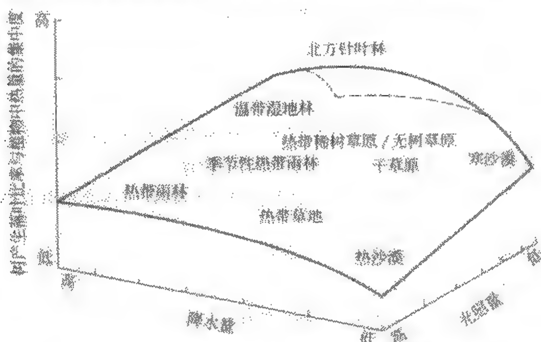


图 6-18 与图 6-6 的二维视点相关的三维状态空间[19]

2. 数据转换技术

在行为线的所有形式中，状态空间中的直线在某种意义上是最简单的。按照数学理论，只要我们的工作足够彻底就可以梳理出任何的连续曲线。然而，状态空间中的经验点并不是真正的点，而是区域——由观察“误差”的范围所决定的区域。任何变换都包括对误差范围进行扩展或者约束的特征方法，并且能够改变行为“线”的形状。例如，有人提出下述对数定律：

任何数据点的集合均可形成直线，如果画在对数坐标纸上的话。

讨论上述定律，以及其他的能够在二维状态空间中形成直线的变换方法的行为。

3. 语义成分分析

人类语言学中一种引起争议的研究方法就是试图通过将"思维的自然分类"分解成基本的"成分"来认识思维。根据本章的概念研究这种方法的发展历史以及围绕这种方法的争论，作为其中一方对这种方法进行辩论——或者对两方均反对。

参见：A. F. C. Wallace and J. Atkins, "The Meaning of Kinship Terms," *American Anthropologist*, 62, 58 (1960).

Robins Burling, "Cognition and Componential Analysis: God's Truth or Hocus Pocus?" *American Anthropologist*, 66, 20 (1964).

4. 心理学中的要素分析

对于我们而言，人类的心灵可能是一个终极黑箱——至少已经有三代心理学家一直在试图从这个黑箱中抽取智慧的"真正"维数。事实上，正是由于对于智慧的研究促使斯皮尔曼(Spearman)于1904年发展出一种数学方法用于自动抽取"要素"或"成分"或"维度"，我们将这种数学方法称为"要素分析法"。这个方法由塞斯通(Thurstone)进行了大力改进，并且经过70年来的应用以及上百个研究者的进一步改进，围绕着其试图抽取的要素是否"真实"的问题仍然存在争论。

尽管这个方法现在已经远远不止应用于心理学范畴，其应用的焦点仍然在初始问题上：智慧的要素是什么？吉尔福德(J. B. Guilford)在这个方法的发展的大部分过程中都参与其中，他总结的通过要素分析法得到的目前关于智慧的图像，用三维状态空间可以表达为：

(内容，产品，操作)

其中包括 $4 \times 6 \times 5 = 120$ 种状态，如图6-19所示。对推导出这个状态空间的方法进行讨论，并讨论这种方法是如何被心理学家所运用的，以及在构件人类的智慧方面这种方法有何欠妥之处？

参见：J. P. Guilford, *The Nature of Human Intellect*. New York: McGraw-Hill, 1967.

H. H. Harman, *Modern Factor Analysis*. Chicago: University of Chicago Press, 1967.

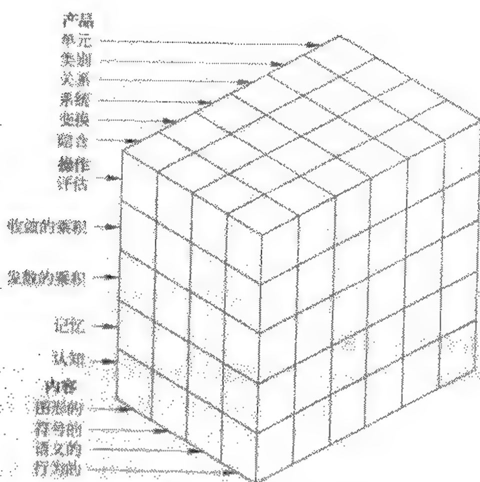


图6-19　吉尔福德的智力活动三维模型

5. 艺术史

多少世纪以来，艺术家们在将三维的景象投影到二维画布的时候，用什么处理方法消除诸多的不确定性？东西方艺术之间的差异又如何？现代技术在下一步的处理方法中会起怎样的作用？

参见：E. H. Gombrich, *Art and Illusion*, New York: Pantheon, 1960.

6. 一般性问题

找一本商业杂志和一本工程杂志，看看其中能发现多少种时序图，并看看还能发现多少种状态空间表达方法。在其所描述的系统中，识别初始状态及其输入序列，并讨论它们各自对于系统行为的不同影响。如果可能，用不同于书中已经采用的其他表达方法来描述同样的行为。

7. 影片制作

动画片给了我们一种更为有效地表达时间或者其他维度的可能性。

编写一段动画片的脚本,解释本章关于行为的概念。至少使用三种适合于影片表达方式的关于系统行为的新观点。

8. 历史

碳-14 年代测定法没有像最初希望的那样最终成为一种普遍适用的计时系统,但历史上有许多种记录时间的系统,尤其是记录过去历史的系统。假如你希望研究过去 1000 年前的气象变化,你会使用哪种计时系统?每种计时系统的失真会是什么?在你绞尽自己的脑汁之后,你可以参见:Emmanuel Le Roy Ladurie, *Times of Feast, Times of Famine: A History of Climate since the Year* 1000. Translated from the French by Barbara Bray. New York: Doubleday, 1971.

9. 改变思考方式

每当你赶到公共汽车站时,为什么似乎总是汽车离站而去的时候多,汽车迎你而来的时候少?因为公共汽车是循环开的,而你一般都是离你的起点近而离你的终点远——否则你还要乘公共汽车干什么。当然没有理由认为循环的两部分大小相等,但你可以分为两个状态。将这种观察结果量化,并将其一般化,考虑不止一辆公共车在路线上行驶。此外,按照这种思路,分析民间谚语中的智慧:"心急吃不了热豆腐。"

10. 畸形学

根据观察经验,妇女生育患先天性痴呆症孩子的可能性随着其生育年龄的增加而增加。例如,一位 40 岁的妇女生育这种孩子的可能性是一位 25 岁的妇女的 10 倍。关于这种现象的一种解释是,卵子可以在一段持续几天的期间中受精,当受精的时间接近这个期间的尾声而此时又发生一种称为非分裂前染色体分裂时,就会产生先天性痴呆儿。在这种情况下,交媾的频率与观察的频率成正比:如果交媾每天发生则在期间末期受精的可能性几乎没有,但如果交媾是大致十天一次,那么这种受精的可能性就大大提高了。对这种现象建立一种模型,考虑受精周期、交媾频率和先天性痴呆的频率。哪种经验数据有利于证实这个模型?

参见:Abraham M. Lilienfeld, *Epidemiology of Mongolism*. Baltimore, MD: Johns Hopkins Press, 1969.

11. 微波工程

随着微波设备的数量和种类的增加，对微波与其他系统之间相互作用的问题和推测开始增加了。例如，一般认为厨房中的各种电器是相互独立的，但当微波炉进入厨房后，人们很快就发现它对装有心脏起搏器的人具有严重影响。正好应了那句老话："如果受不了微波，就别站在厨房里。"

讨论其他的微波系统对原本相互独立的系统产生影响的情况，并推测可能的影响以及对付这些影响的可能办法。

参见：*IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. Especially "Special Issue on Biological Effects of Microwaves," MTT-19, 128 (February 1971).

12. 精神病学

讨论下面一段话的含义：

> 本书将动态学观点应用于社会心理学现象，与大部分社会科学研究中所采用的描述性行为学方法具有根本的不同。站在动态学的角度，我们的基本兴趣不在于了解一个人现在的所想、所言和所为，我们的兴趣在于其性格结构——就是说在于他的能量的半永久性结构，在于这种能量所构成的渠道的方向性及其流动的强度。如果我们知道激发一个行为的驱动力量是什么，我们就不仅能够理解一个人现在的行为，还能够对一个人在环境变化时可能的行动进行合理的假设。在动态学观点看来，一个人的思想或者行为中出乎意料的"变化"大多是可以预知的变化，如果我们了解其性格结构的话。
>
> 艾里克·弗洛姆[17]（Eric Fromm）

特别讨论"行为"和"结构"在各处的用法。弗洛姆所说的"环境变化时"的含义是什么？不定法则在此处如何应用？

13. 维度分析

从维度分析中，我们得到了无维度乘积的观念——两个或更多的物理变量的乘积使所有维度逐个抵消。重要的无维度乘积的例子包括：雷诺数、弗劳德数、韦伯数、马赫数等——最后的马赫数就是两个速度的比

率因而很明显就是无维度的。"给定变量的无维度乘积集合被称为完整集合，如果该集合中的每一个乘积都独立于其他乘积，而且给定变量的所有其他无维度乘积均为该集合中无维度乘积的乘幂的乘积。"

讨论无维度乘积以及该集合中要求完整性和独立性的意义。

参见：Henry L. Langhaar, *Dimensional Analysis and Theory of Models*. New York: Wiley, 1951.

P. W. Bridgman, *Dimensional Analysis*. New Haven: Yale University Press, 1963.

14. 人类学

人类学家通常分为两类：一类是像马里诺夫斯基(Malinowski)和米德(Mead)这样的现场工作者，还有一类是"安乐椅"派人类学家，像弗雷泽(Fraser)和列维斯特劳斯(Levi-Strauss)，其理论依赖于别人的报告。讨论下面这种说法："安乐椅"派人类学家研究的不是文化，而是人类学家，也就是说，他们研究的不是鱼，而是渔网的格子。

参见：James G. Fraser, *The New Golden Bough* (Abridged edition). New York: Macmillan, 1958.

Claude Levi-Strauss, *Structural Anthropology*. Translated from the French by C. Jacobson. New York: Basic Books, 1963.

15. 一般相对论

物理学家称爱因斯坦的一般相对论的基本哲学基础为"等效原理(the principle of equivalence)"(不要将这个"原理"与一般系统论的法则相混淆)。大致来说，等效原理认为观察者无法通过测量区分其实验室是正在重力场中自由下落还是正在空间中某个无重力区域中加速。讨论爱因斯坦将这个原理用作经验工具的方法，并将这些经验与系统化思维使用不定法则的技巧相联系。

参见：Albert Einstein, *The Meaning of Relativity*, third ed. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1950.

16. 树木栽培：共时性与历时性

如果我们在任何一个时间到果园去摘苹果，数苹果的种子数，称苹果的重量，就可以画出如图 6-20 所示的平均重量与种子数的关系图。我们如何能够判断这个图是下面哪种情况的结果：

a. 预先确定了数量的种子产生的果实与种子数量成正比，

b. 由于适宜的环境果实不断增大从而使种子的数量随之增加？

参见：A. C. Leopold，*Plant Growth and Development*. New York：McGraw-Hill，1964.

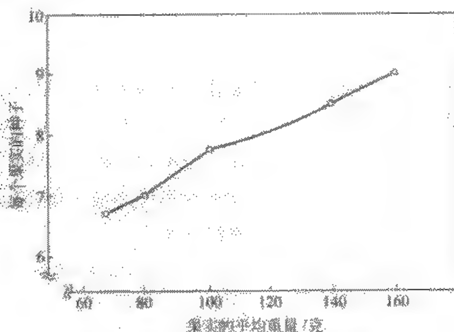


图 6-20　苹果的重量与种子的数量

17. 古典考古学与现代旅游学

图 6-21 展示的是古希腊采石场和纪念碑不同的大理石样本，根据其碳-13 和氧-18 同位素的含量排列标出其在二维状态空间中的位置。解释考古学家能够如何使用这些信息，并指出在使用过程中可能出现的三种错误。希腊人每年冬天都要不得不将别处的大理石碎块撒在帕台农神庙附近以便满足游客们掠夺一点纪念品的无休止的欲望，这种现代旅游的手法会对考古学造成怎样的麻烦？

参见：Harmon Craig and Valerie Craig，"Greek Marbles：Determination of Provenance by Isotopic Analysis." *Science*，176，401 (28 April 1972).

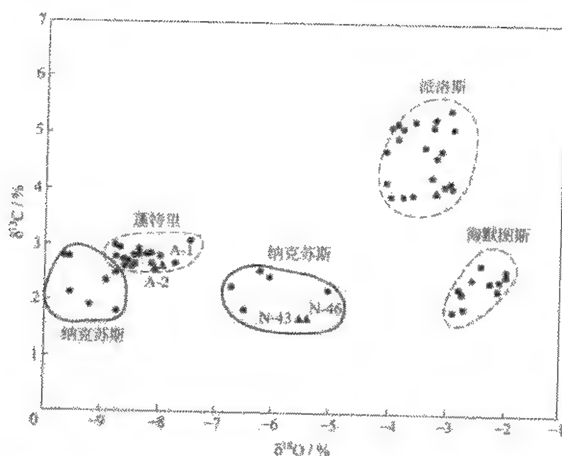


图 6-21　古希腊采石场大理石样品中的碳-13 和氧-18 变化图，与 PDB 的同位素标准相关。图中的三角形表示某些考古样品

18. 应用人类学

使用本章的术语与材料评论以下故事：

太平洋瑙努岛上的土著人喝一种自家用棕榈叶子发酵酿造的传统的烈性饮料。但是第一次世界大战之后，瑙努被托管给澳大利亚，禁止饮酒。6 个月内，婴儿死亡率就达到 50%。原因何在？人们通过饮食摄取的维生素 B1 很低，至于婴儿只有在母亲酗饮时才能够获得足够的维生素 B1。当土著居民被允许饮酒后，婴儿死亡率立即降低到了 7%。

参见：*Playboy*，19，No.6，186 (1972)。

第7章 一些系统问题

惟有变化，才是永恒。

赫拉克利特(Heraclitus)

系统的三元论

真正的转变在于从专注于组织形式转向专注于行动，从个体的存在转向个体的行为，从外在形式转向内在功能，从系统模式转向系统过程，从永恒转向短暂。"存在"是个体与时间相交的部分，也成为在一个个时间点上似乎保持相对不变的组织机构的本质结构。通过时间不变的特性，可以识别成熟机构的重要部分。相反地，从大的时间跨度来看，那些短暂的和可逆转的变化频繁发生，从而表现出系统的种种"行为"和功能；而那些长期的、不可逆转的变化渐渐发生，从而推动系统"进化"和发展。这种时间不变特性也引起了人们对于个体的关注角度的转变——从表征空间中的物质形态的单个物体转向表征沿时间轴发生的事件序列的物体行为。

R. W. 杰拉德[1](R. W. Gerard)

现在，我们已经到达了系统化思维学习这段旅途的第一阶段的预定目的地。本章是第一阶段与后续旅程的一个中转站——我们将回头看看究竟走到了什么地方，今后还将要往什么地方走下去。

我们经历过哪些地方？运用杰拉德的"存在、行为、演化"这些富有启发性的说法，我们已经讨论过记录"存在"的方法：集合符号、结构图、性质、边

界、白箱；讨论过"行为"的描述方法：状态空间、时间图、输入、随机性、黑箱。我们也研究了存在和行为之间的关系——如何根据物体行为并通过对物体"特性"的抽象来推断出物体的结构，以及如何根据物体特定结构借助于"程序"执行过程来推断出系统的行为。

然而，我们还特别提出了从第四个角度——"信念"来研究所有这些东西。我们提出过这样的问题：观察者，或者说信徒们，怎样去理解观察现象？答案涉及了方方面面——眼—脑定律、广义热力学定律、广义互补定律、差别法则、不变法则、强连接定律、图景法则、共时与历时法则、不定法则等。对于上述问题，种种法则、定律给出的答案是：我们，作为观察者，总是与所观察到的现象纠缠不休，与我们确信存在的终极不定性纠缠不休。

虽然以上所有的知识为我们向着前方坎坷崎岖的道路前进做了准备，但是，我们还没有提出"演化"这个问题。我们自出生之时起，就拥有了早已准备好的整个世界。可我们却不承认这一事实，因为我们根本不相信世界早已存在。"这个世界充满了种种事物"，以至于我们满足于看到好像箱子的玩具等种种东西，思想的世界就是诗歌的花园。随着年龄增长，阅历渐丰（泰迪熊少了一条腿，家搬到了新地方，从小伴随我们长大的小狗"睡着了"），我们才发现世界原来变幻莫测。只到那时我们才会提出有关"存在"的问题："事物是怎么发展到今天这个样子的？为什么不能亘古不变？"

是生活经验安排了这些问题。随着年龄增长——伴随着国家的兴盛衰落、理论的成熟消逝、爱情的生生灭灭——我们才明白"惟有变化，才是永恒"的道理。从此，我们不再惊诧于变化，相反地，我们急切地想了解"为什么事情总是老样子？"

当我们年纪更大一些的时候，看到的不仅仅是外部世界的消逝，而且还有钟爱的童年幻想远离自己而去，我们要问"为什么我要看到所看到的这一切？"我们的世界观从存在向前进到行为，再进到演化，再到信任——这才完成了认识的整个循环。

所以，这里蕴涵了主宰一般系统化思维的三个重要问题，**系统中的三元论**：

1. 为什么我要看到所看到的这一切？
2. 为什么事物保持不变？
3. 为什么事物会发生变化？

所有的一般系统论方法必定从其中一个问题出发开始探索，直到被迫转入另外的问题。我们永远到不了终点，我们也不想这么做。因为我们的目的不是解决斯芬克斯难题，而是设法提高思维的能力。我们可以从希望了解的问题开始，也就是必须从上述第一个问题开始。我希望能在以后的书中详细讨论第二个问题，接着是第三个问题，当然是在另一本书中了。然后，如果我们还有足够的勇气和精力，可以再回头讨论第一个问题。

然而，因为三个问题自成一个循环，所以我们还是应该在此作一个整体性的讨论，只有这样我们才可能在到达目的地之前——实际上我们根本不可能到达那个目的地——对整个问题领域有一个系统的概念。

稳定性

> 一般性的观点总有一些抽象，正因为如此，从某种程度上它们才成为对生活的一种否定……人类思想，以及作为其成果的科学，能够抓住的只是事实的重要性的一面，比如它们的关系、法则——简而言之，永恒变化中不变的部分——而不是这些事实的物质性、个性化的方面，这些关系法则随着现实和人类生活而跳动，因此变幻莫测又不可触摸。科学反映的是对现实的理解，而不是现实本身；是关于生活的思考，而不是生活。这是科学的局限，真实存在不可战胜的局限性，因为科学正是建立在它惟一的有机器官——思考的基础上的。
>
> **巴枯宁[2]（Bakunin）**

在某些科学家看来，出自一位19世纪无政府主义者口中的这些话对粗人们来说是一种挑衅，然而巴枯宁本人不是科学的敌人。尽管今天的人们对于无政府主义存在着误解，尽管巴枯宁承认科学的有限，但是巴枯宁本人曾积极鼓吹建立一个真正科学的社会。他的话不是诅咒，而是分析——其思想呈现出令人惊异的当代性。

我们曾经提及系统的行为，它们"持续不断的变化"。然而，现在我们必须面对"其中永恒的部分"这个问题，因为这些才是今天以及100年前的科学的内容。为了避免误导，我们必须剥去日常生活中赋予"稳定"一词的部分含义。



当然，首先我们可以用“不稳定”来形容一个哪怕只出现过一种预期之外的行为的系统。扔一颗炸弹的人就成了一个无政府主义者；大楼倒塌一次就是不稳定的。如果大楼正在倒塌——或曾经倒塌——它是不稳定的；可是日常生活中人们总是错误地认为一幢大楼只能是静静地矗立或者倒塌掉。

我们常常把“稳定的”混同于“不动的”。大多数人都认为纽约的帝国大厦是稳定的，因而我们会因为发现在有风的日子里它微微晃动而备感惊讶。稳定不等于完全不变，就仿佛无政府并不意味着从有秩序走向混乱一样。稳定性指的是在允许范围内变化——恰如无政府主义那样。

只要风力足够大，任何建筑物都会倒塌。我们能因此而得出所有建筑物都是不稳定的结论吗？根本不可能。稳定性不仅意味着系统承受变化的限制，也意味着系统能够承受的扰动的程度。所以，当我们提及稳定性的时候，表达的实际上是两重意思：系统的一些可接受的行为以及环境的一些期望之内的行为。换句话说，我们在状态空间中定义了环境变化的范围，以及相应的系统变化范围。例如说，我们可以这么定义建筑物的稳定性：在风速达到 90 英里/小时的条件下，建筑物顶端晃动所偏离垂线的距离不超过 10 英尺。

在我们的定义中，稳定性体现了系统和环境的关系。对于封闭系统而言，可以想像存在着绝对稳定，但这样又把问题变成了边界的隔离问题，我们又如何才能构造一个绝对稳定的边界将系统绝对地封闭起来呢？物理学家已经认识到了这个问题，于是提出稳定性与“小扰动”相关。系统只是一小部分开放，我们由此而观察它的行为。如果小的扰动对系统的影响逐渐消失，那么系统就是稳定的；反之，如果小扰动作用被放大，系统就是不稳定的。金字塔就是一个典型例子：如果它的底面落地，轻轻推动金字塔的顶端它还会回到它原来的位置；但是如果顶端落地，那么稍微碰一下金字塔就会让它翻倒，而不会回到它原来的不稳定位置。

这里，物理学家对稳定性的定义在某种程度上是一种令人不满的循环定义，因为除了按照他的稳定性实验来定义，他又怎么知道什么东西是小“扰动”？这种绝对的东西从该系统传递到环境中，使它也拥有了这样绝对的“小”扰动。虽然上述说法已经能够让那些研究近似封闭系统的科学家们感到满意，但对于那些无法在实验室中回避开放性的人来说则可能产生误



导。尤其是这有可能误导我们在系统“内部”寻找稳定性，而不是从系统与环境的关系来寻找稳定性。

如果在生态学中有这样绝对性的思维，就是十分危险的事情，这也是导致地球上许多掠夺性破坏行为发生的根源。举例来说，在密密的森林中，一棵大树之所以能够稳稳地站立着，一部分原因来自于周围树木帮助它抵挡了大风的侵蚀。如果伐木工人认为树的稳定性只与某棵树自身“内在的”原因相关，而大肆砍伐周围的树木，只留下少量他认为足够稳定的树木，那么余下的这些孤零零的树木往往在经历第一场暴风雨后就会全部倒下[5]。

生活中这类绝对论的观点可谓屡见不鲜，人们似乎应该知道应用“经验公理”了，也就是依据过去的经验来推测未来。然而，当过去真的可以作为参考的时候，人们却又视而不见。随便翻开42卷本《美国环境研究文集》[1]中的任何一册，就能看到类似的故事——像那些候鸽，曾经有几十亿只生活在北美地区，如今已杳然无踪。我们在其中的一篇，《俄亥俄州参议院特别委员会1857年报告：关于保护候鸽的建议法案》中可以读到下面的文字：

> 候鸽不需要任何保护。它们可以大量繁殖，北部拥有广袤的森林可供它们栖息、繁殖，它们能跋涉千里寻找食物，所以今天也好，明天也罢，任何普通的破坏都不会使它们的数量减少，或者年繁殖量降低。

请告诉我们，如果“普通的破坏”不是“小扰动”的代名词，那么它应当是什么含义？当自然界想保存一种不可替代的资源时，它什么也不会去做而只是等待，直到人们实际上破坏了生态系统，而此时我们尚未给出“小扰动”的准确定义。

然而，经验主义也有用处，所以至今不衰。“线性系统”的概念是一种更加复杂的方法，它试图保存“系统中的”稳定性的含义。如果系统是线性的，那么该系统内的某些量就会随着某个输入量的增长而成倍增长。在功能模型中，如果系统的“响应”表示如下：

$$R = f(I)$$

其中，I 表示输入，如果 f 是线性的，就有

$$f(2 \times I) = 2 \times f(I)$$
$$f(1000 \times I) = 1000 \times f(I)$$

或者，概括起来

$$f(a \times I) = a \times f(I)$$

对所有可能的 a 均成立。

线性系统的概念，如同封闭系统的概念一样，都是非常有用的近似描述，所有的系统思想家[5]都会对它们加以细致认真的研究。线性系统对于稳定性的重要之处在于，它不再需要关于"小扰动"的相对概念，因为只要扰动是有限的，系统的行为还将与原来的一样，只不过倍数放大了许多。例如，如果我家中的音响是线性的，那么调大音量开关，只不过声音增强，但不会发生畸变——我可以一直加大音量，也不会听到任何与原来音乐不同的音符。

不幸的是，虽然线性系统的概念对于系统化思维很有益处，但它同时将绝对主义推向了更加不妙的境地。我们所接触的任何系统都不是严格的线性系统。如果把音响的音量加大到一定程度，音质肯定发生畸变。音响设计者可能不会设计让我把音量调到那么大，也有可能我为了保护自己的音箱不去那么做，但是这些做法都是非线性的，都是试图使音乐在线性范围内工作。线性近似实质上是说"在一个合理的范围内"，系统保持线性特性。那么，什么是"合理的范围"呢？我们在不涉及非线性的条件下如何知道线性的这个范围呢？

与线性近似的另一个问题是：系统是稳定的并不意味着它一定是线性的。如果把我们的注意力局限在线性系统范畴内，就会忽略大量具有稳定行为的非线性系统。我们之所以采用线性近似，并非因为世界在本质上是近似的。采用其他的近似方法，我们同样也会很容易地过于相信自己的模型而不是经验世界，其结果是我们"看不到"非线性系统，就像我们"看不到"不存在的系统一样。

例如，线性系统具有很好的"叠加"特性：两个线性系统叠加在一起仍是线性系统，至少如果我们能严格遵守"叠加"的规则时结论如此。又比如，有以下两个系统：

$$R = f(I) \qquad\qquad S = g(I)$$

它们都是线性的，它们的和如下：

$$T = R + S = f(I) + g(I)$$

也是线性的。也可以反过来看，我们可以将一个线性系统分解成多个线性系统。



就现状而言，叠加是一种很便利的特性，但是马虎大意可能导致关于非线性系统的错误论述。W.J.坎宁翰[6]在他的一篇具有一定难度的文章中在工程师眼中对稳定性是这样描述的：

> 工程中的许多问题都可以分解成一个个小问题。一架飞机的最终测试结果当然要看它作为一个整体能否正常地工作、飞行，然而，可以把飞机分解成很多个小系统来分别对待……如果飞机作为一个整体要正常工作，每一个小系统也必须正常工作。如果部件系统不是稳定的，那么整机系统就谈不上稳定。

当然，坎宁翰无意中在这里采用了与线性系统相同的思维方法，因而犯了**分解错误**。一旦人们承认宇宙中存在非线性系统这一道理，我们就可以将一些原本不太稳定的部件组合在一起构成一个稳定的系统。森林中的大树是一个例子，孤立的候鸽也是一个例子：人类自身偏爱私下进行繁衍交配，但是证据表明，如果不是在一棵大树下聚集了几千只候鸽，它们不会发生交配。所以，候鸽的"年繁殖量"不是其数量的线性函数。将一群候鸽分为两半，这两个半数的候鸽群繁衍的后代的数量之和比原来整个一群候鸽繁衍的数量减少许多；如此重复下去，最终的候鸽群就不再生育。

人们还有一种倾向，就是往往将"稳定性"与"良性"联系起来。如果有一个煤矿从50年前开始着火直至今天尚未停止——它显示了高稳定性，但不是什么"良性"的。进一步说，因为稳定性和良性的定义都代表某种特定的观点，所以一个具体现象对不同人而言就可能出现"稳定且良性"、"稳定且劣性"、"不稳定且良性"，以及"不稳定且劣性"等不同结果。政府的形式可以保持稳定，而政府官员却更迭不已。保守派认为政府保持稳定是好事，而对于激进分子而言，稳定的政府并不好。被罢免的官员认为政府不稳定不好；而受虐待的穷苦百姓则认为这种不稳定很好——因为社会最终将驱逐流氓无赖。

尽管如此，我们还是不自觉地感到稳定性与良性有关系，而且头脑中确实认可这种相关性。这种联系从何而来？为什么具有如此的普遍性？当我们试图寻找这种无可否认的普遍印象的形成原因时，我们就应该去探究形成这些印象的那些普遍经验。人们善于捕捉的是变化而不是不变性；此外，在引起人们注意的事物中，引起痛苦或不适的那些事情更容易印在人们的

头脑中。所以，当发生变化的时候，那些引起我们生活恶化的东西通常在我们头脑中留下深刻印象，所以我们开始认为变化等同于恶化，也就是默认稳定等同于良性。

或许，每个人的头脑中都有一个理想世界：只有“坏事”会变化，“好事”则会永恒保持。但真实世界并非如此，因为好与坏的标准随着时间的推移也会改变。同样，何为稳定、何为不稳定的定义也不是永恒不变的，一个曾经“稳定的”系统可能仅仅因为我们重新定义了系统行为的变化范围或者环境变化的范围而变成“不稳定”系统。这种变化可能会经过一个缓慢的过程，如同父母逐渐地接受孩子的新表现；也可能因某个事件而发生迅速变化，如候鸽的灭绝事件。

举例而言，一幢大楼在一个风力达到每小时 110 英里的日子里倒塌了，大楼的业主和在大楼倒塌中受伤的人们就会起诉建筑师给他们设计了一幢“不稳定”的建筑。在这种时候，如果你去提醒业主，当年他们也一致赞同了假设风力最大为每小时 90 英里的大楼设计方案，就不会有什么用处。110 英里/小时的大风这种从未见过的天气，改变了人们对于建筑物稳定性的概念；然而，假如在此之前建筑方案给出的假设就考虑了类似这种从未出现过的天气条件，并因此需要增加额外投资，这些业主或许永远不会赞同这样的设计方案。

最后一点是，与稳定性相关的三个部分——系统、环境和关键性限制条件——都依赖于观察者。那么，我们如何说明我们存有稳定性对于系统化思维十分重要的这种感觉呢？答案就在下面帕森（Parsons）和希尔斯[7]（Shils）的论述之中：

> ……如果系统有很好的不变性值得我们去研究，那么其中肯定存在一种保持该系统有序性的趋势，除非遇到极特殊的情形它才改变。

换言之，假如我们用信手拈来的任何变量来表示系统，那么它不一定呈现出稳定性，但是，越是不稳定的系统，越不具备“值得研究”的机会。

也许用“能研究”来代替“值得研究”更好一些，因为科学家们总是竭尽全力去制造或者寻找他想研究的东西中不可思议的稳定性。有时，可以缩短时间尺度——一种同位素能在百万分之一秒内保持“稳定”对于物理学家而言就足够了。图 7-1 是一个**光脉冲**(!)的照片，用 20×10^{-12}秒的快门拍摄



的一束光经过一瓶水的过程，使得光脉冲具有"值得研究的、足够的不变性"——就好像为了研究从收费站驶出的汽车一样，人们设计了相应的实验装置。[8]

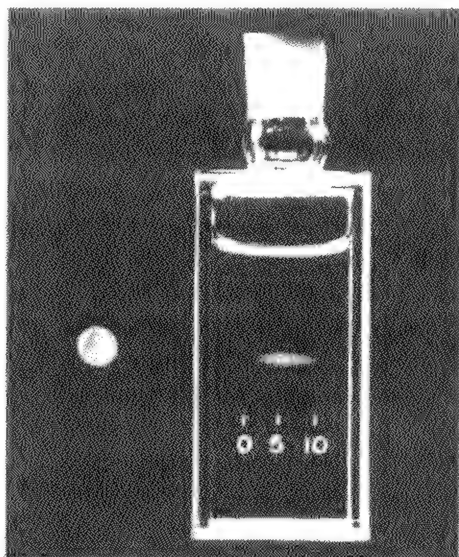


图 7-1 飞行中的光线照片

借助于形形色色的实验装置，科学家们成功地从系统中提炼或者创造出那些恒定的部分——其成功乃至于使科学家们忘记了这种恒定性不过是某种选择的结果，而不是随机的。100 多年前，达尔文[9]就观察到了这种情形，并有如下描述：

作者们有时会对重要器官从不发生变化这一说法产生循环论证；因为同样是这些作者实际上因为这种不变性而认为它十分重要（某些博物学家非常诚实地承认了这一点）；而且，在这种观点指导下，没有人会发现某种重要器官会发生改变的哪怕是一个实例；然而在任何其他的观点指导下，人们可以给出许许多多业已证实的器官变化的实例。

当然,达尔文在这里是针对解剖学家和博物学家而言的,然而有趣的是,100多年之后在人类学领域里,一位著名的理论家朱利安·斯蒂沃德[10](Julian Steward)也发现了类似的得到"诚实承认"的循环论证:

> 当前,有关科学的目的和方法的表述是建立在一种需要加以澄清的文化观念之上的。人们越是能将文化制度中重要的部分从它们赖以建立的基础中分离出来,然后定型、分类、并建立与重复发生的先决条件或者功能相关的其他部分的关联,就越有可能得到这样的推论:可以认为文化制度是根本和恒定的,而那些导致独特性的东西是第二位的、变化万千的。

斯蒂沃德表述的是一种启发式的法则,即我们的**不变法则**,不过如果不是很仔细地阅读他的文章,我们可能误以为这是一种自然法则。他说:"可以认为……是根本和恒定的",从中我们可能推论出"根本是不变的"或者"不变即根本"。而他真正所说的是"不变即可研究的"——即**不变法则**——所有这一切为三元论的这一问题做好了准备:

"为什么事物保持不变?"

存续性

> 如果有机会看到人类设计的或者自然界存在的那些自动装置,你常常可以发现它们的结构很大程度上受控于这些自动装置可能发生的故障以及对付故障所采取的相应的预防性测试办法(或多或少有些效果)。说它们能预防故障的产生有些夸张,好似采用了与这个主题不同的一种乐观的描述方法。它们不是能预防故障的产生,而是被设计成当大部分故障发生时,系统不至于因此而失效。要消除所有的故障,或者消除故障所带来的影响是不可能的,我们能尝试采取的措施仅仅是设计一种自动装置,使得系统在发生大部分故障时仍能继续工作。这种装置减轻了故障产生的危害,并不是排除了故障本身。大部分人造的和自然的自动装置以及它们内在原理概莫如此。
>
> **约翰·冯·诺依曼[11](John von Neumann)**

一个系统为什么能存续下来?从长期的角度看,是因为那些不能存续

下来的系统都不会引起人们的关注。我们经常看到的系统只是几个从过去的所有系统中选出的一部分系统；它们是最好的“存续者”。

我们很快就注意到，存续对于系统而言是真正重要的事情。我们的观点可能偏颇，因为经常跃入我们视线的系统都是出色的幸存者，然而其余的大部分系统，其存续时间都不会很长——这些系统的生存时间几乎可以任由我们想像。对于生物个体而言，我们有理由相信没有一个生物体能永远生存下去。已知的最古老的活生物——狐尾松，至今已经活了4000年左右。如果我们选择“**种群数量**”作为一个系统来观察，那么即使种群中的某些个体死掉了，种群仍有可能存活下去，然而这也不能改变它最终灭亡的命运。自从生命出现在我们这个星球上，曾经生活过的生物物种中已经灭绝的超过90%——仅仅极少数物种，比如蟑螂，拥有大约3亿年的历史。人类的组织机构就更为羸弱了：大部分企业5年内就会解体，人们很难想像一个拥有几百年历史的企业是什么样子。像罗马天主教堂那样的机构，有了近2000年的历史，是硕果仅存的稀有之物。

存续性决不是系统行为的一个微不足道的性质，所有值得我们加以研究的系统都必须具备这种性质，而这种特性也不是随意的一种集合体所可能具备的性质。所以，清楚地了解系统存续性的真正含义十分重要。由于存续性表示了系统持续的存在，因而为了澄清存续的确切含义，我们必须仔细了解“持续”和“存在”的真实意义。

“持续”是指使系统值得加以研究而存在的一段时间。它到底应该是多长取决于系统和观察者之间所采用的相对时间尺度，它至少也是间接地与观察者的生存时间相关联。如果人是系统的观察者，那么这种时间尺度的效果就不难确定。例如，我们一般不会认为植物能够出于自身的内在力量而发生位移，然而，假如通过定时拍摄照片将时间尺度大大缩短来观察一株植物的变化，我们将会看到它会激烈地扭动。若非通过高速摄影技术进行慢镜头播放，在我们还没有来得及了解诸如微生物这样的世界之前，它们就已经跨过了从生育到死亡的全部过程。

前文中的白箱系统可以用来解释时间尺度的意义。请回忆我们表示四种不同类型OCCULT俱乐部的符号：*SX*、*SI*、*SV*和*SVI*，它们因随机输入作用下系统出现的最终状态之不同而命名。在描述达到状态*SX*、*SV*和*SVI*的方法时，我们只谈及达到状态*SI*的必然性。如果我们真的要展示，

比如从(0.25,0.25,0,0,0.25,0.25)的某个状态开始的系统行为，就会看到与图7-2相仿的结果，从中看不出系统会走向状态 *SI* 或者其他任何状态。

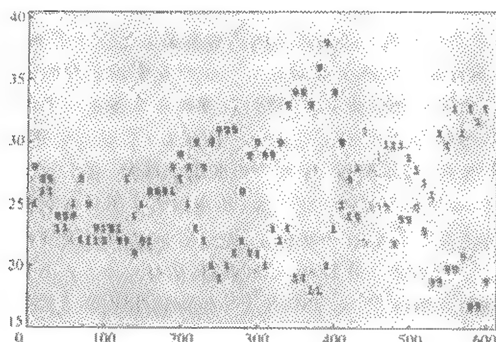


图7-2　*SI* 区域的行为

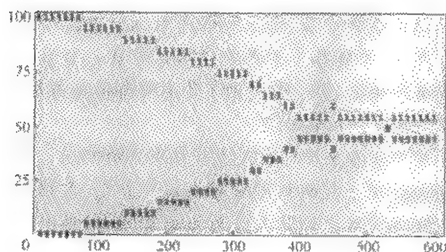


图7-3　接近但尚未达到状态 *SI*

系统之所以不能到达状态 *SI* 的原因可以从图7-3中看出来，其中这个俱乐部从状态(0.99,0,0,0,0,0,0,0,0.1)——状态 *SI* 的必要前提条件——开始。像图6-4第15行[(38,48)，其中 $d_{38}=IX$]那样一种极为特定的输入条件会使系统走向状态 *SI*——等级为 *IX* 的会员必须"教育"自己以成为等级 *I* 中的一员。因为这个输入不是总部发来的命令，俱乐部就会越来越远离状态 *SI*，虽然它仍停留在从 *I* 到 *IX* 的状态空间中。换言之，系统很少有机会能转变成状态 *SI*，即使俱乐部是一个"封闭"系统——达到封闭状态需

要一组几乎不可能实现的长序系的输入命令，即使只挑选最优秀的人才作为自己的会员，我们也极不可能看到系统能靠近状态 SI，更不用说仅仅靠系统自身力量而达到状态 SI 了。

系统究竟要花费多少时间才能到达完美的全 1 状态，取决于大法师如何控制系统的输入。如果他给出的输入确实是"本质上随机的"，那么系统将会花很长很长的时间才会真正到达状态 SI——虽然一旦到达，系统将永远保持在状态 SI 上。

很长很长时间到底有多久？如果计算机每秒钟进行 1000 次状态变迁，那么我们要等上比宇宙年龄还要长的时间才能看到系统到达最终状态 SI。所以，虽然我们可以借助于逻辑性知道系统最终总会到达 SI，但是，如果仅仅通过观察系统变化过程，我们就不会得到相同的结论。在这种情形下，图 7-2 就成为系统的一个"典型"的行为过程，虽然它命里注定最终会消亡，我们也会得出结论说系统的这种特性是稳定的。并且，假设经过一段很长的时间，我们偶然观察到一个系统到达了状态 SI，我们定会毫无疑问地得出结论说我们熟知的系统不再存在了。

同一性

> 控制论中最基本的概念是"差异"，它既可以是两个物体存在差别，也可以是一个物体随时间发生变化。
>
> W. 罗斯 · 艾什比[12]（W. Ross. Ashby）

生存必须拥有一个身份标识。身份标识实际上就是生存能力的同义词，因为任何不能生存的事物都不会被辨认出来，而改变身份标识的那些事物也就因此而消亡。然而，要拥有身份就需要一个标识系统身份的标签，不然的话，判断系统存在与否就变得十分困难。罗马是在公元 476 年灭亡的吗？一些历史学家如是说；不过，如今的罗马城中依然生活着几百万罗马人。当海德先生游荡在街头巷尾时，吉基尔医生[①]就不再存在了吗？这一系列问题都可以化作一个基本问题，即怎样为系统建立一种标识。

---

① 19 世纪英国小说家 R. L. 斯蒂文森所著小说《化身博士》中一善良温厚的医生，因服用了自己发明的一种药物而变成了另一个名叫海德先生的凶残的人。——译者注

一个春天的清晨，从厨房的窗户向外望去，我看到一只蓝樫鸟雀跃于樱桃树丛中。因为这只鸟的颜色是蓝色的，所以我才把它认做蓝樫鸟。我不是一位职业的鸟类观察者，而且也不是业余的鸟类爱好者；如果有人给我看一只长有红色羽毛的蓝樫鸟，我就会把它当成红衣凤头鸟，而且我可以认为大多数人会做出和我相同的判断。但是鸟类学家却不这么看：对他来说，羽毛的颜色不是标识蓝樫鸟身份的特性或变种的主要特征。毫无疑问，他很惊讶或者说很高兴发现了一只红色的蓝樫鸟，但是他永远不会将这只蓝樫鸟误认为红衣凤头鸟；对他来说这是一种变种、变异，但这并不妨碍它仍然还是一只蓝樫鸟。现在，到底谁是正确的，鸟类学家还是我？当然，我们都没有错。我们可以争论谁用的分类标识变量更好，但是，我们会停止争论继续保持各自先前的观点。我的分类准则对我进行诗意描述而言足够了，而对于鸟类学家平铺直叙的散文般的论述而言就十分不足了。

也许上面的例子看起来极其愚蠢可笑，因为我用它来澄清概念，而不是用来阐述微妙的区别，所以尽量避免引起争论中偏见的产生，就如同过去很多经典实例做的那样。地球上的第一个人是何时出现的？标准石油公司发生了什么事情？谁是黑人？革命政府必须尊重先前政府制订的所有条约吗？空间中空无一物还是充满了"以太"？在以上所有情形中，因为不存在有关这些系统公认的标识变量，所以争论才有意义。尽管如此，只要看到一个人，我们就能认出他是一个人，我们也知道公司是如何组织起来的，能分辨出谁是黑人，什么是政府，什么是空无一物的空间。只有当我们头脑中那些模模糊糊的概念，受到实际情形的挑战时，我们才知道这些概念原来如此模糊不清，因为在日常生活中，我们没有必要对它们加以进一步的描绘。

但是，所有观察者都能达成共识的系统一定存在吗？例如，单元素原子对所有观察者来说都是一样的——是这样的吗？绝非如此！为了大多数目的物理学家都采用这种假定，但是为了其他个别目的，他们采用穆斯堡尔能谱仪来研究晶体中核子的能级在周围原子的作用下如何改变。"同一性"定义的内涵变化给所有的讨论带来麻烦，从物理学到哲学，因为人们往往采用许许多多、而不是单一的"同一性"定义来谈论问题。

如果沿着计算机工程师所采用的编程方法来识别"相同"与"相异"——又被称为"模式识别"[13]，或者对视觉图像来说就是"图像处理"[11]——我们就能澄清自己头脑中关于"同一性"的认识。如果向计算机出示两张截然不

同的图画，通过将图画分别缩略成标准的——“规范的”或者“正规的”——形式，计算机就可以得出是否“相同”的答案。

例如，在图 7-4 中，我们可以看到几个“字母”。它们是同一个字母吗？如果我们给出了肯定的答案，实际上已经在脑中将它们分别变换成了规范图形，见图 7-5。这种变换实际上是**不变法则**的又一个应用。这里，字母的“同一性”不因图像大小或者旋转角度而改变。

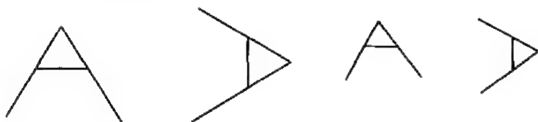


图 7-4　它们是“同样的”字母吗

当然，事情也不会那么容易。图 7-6 中的字母“相同”吗？将其中一个图案略微旋转就会得到其他图案，第一个是字母“N”，第二个是字母“Z”，第三个是——天知道是什么。有时它是 N，有时又是 Z，有时什么也不是，有时两个都行（图 7-7）。上面任何一种规范化规则能给出关于“同一性”的不同定义，而且一样易于被人掌握使用。所以，深层的问题不是去了解两个事物是否相同，而是去探究人们所说的“相同”是否有一致的含义。

“差异是控制论中最基本的概念”——也是一般系统思维中最基本的概念。我们应该永远记住这也是最难的概念，下面的讨论都要用到这个警示。在这个例子中，我们可以假设已经定义了某种大家认可的“同一性”含义，并准备以此来对一个系统进行**标识**。

例如，我们可以同意采用图 6-7 的方法来定义 OCCULT 系统的同一性，所以就有四个系统：*SX*、*SI*、*SV* 和 *SVI*。可以用下面的程序对系统进行简化，得到四个系统中某一个形式：

1. 令 s = 1、3、7、9 的个数。
2. 如果 $s = 100$，那么该系统为 *SI*。
3. 否则，令 t = 5 的个数。
4. 如果 $s + t = 100$，那么该系统为 *SV*。
5. 否则，令 u = 0 的个数。
6. 如果 $u = 0$，且 $t = 0$，那么该系统为 *SVI*。

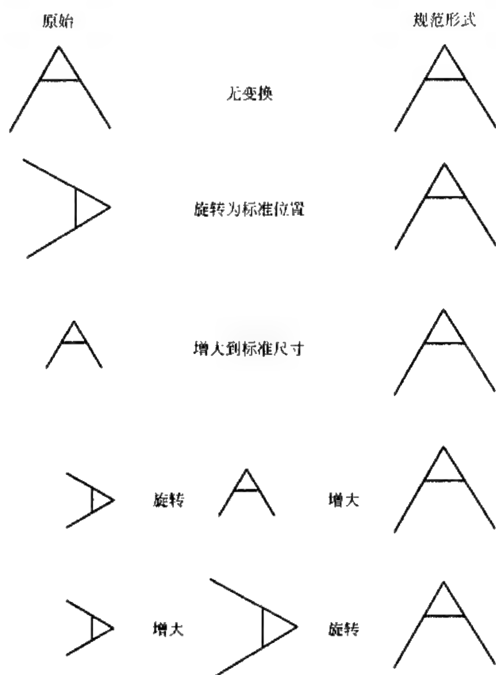


图 7-5　转换成规范形式

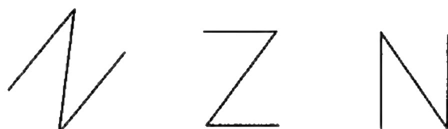


图 7-6　它们是"同样的"字母吗

7. 否则，该系统为 SX。

换句话说，在这里，对系统的识别就被简化成对一种单一状态的观察，



图 7-7　是 N 还是 Z

再经过转换来决定状态空间所处的区域，而我们所观察到的状态就属于这个状态空间。

在这种形式下，实际上我们确信自己能够辨认的是一种单一情形——即完全能被我们观测到的、封闭的、状态确定的那种系统。因为我们的观察受到这种影响，我们就很容易认为，这种瞬间的观察总是能够用来判断两个物体是否相同，不过我们在习惯上倒是要经历一个过程，花费一段时间来进行观察和判断。一段时间应该有多久取决于是否会导致错误的结果——在禁止离婚的社会中，保持较长时间的订婚期就比较安全谨慎。

现在假设我们采用这种标识过程的简单观点。如果我们正在观察的是一个封闭的、状态确定的系统，对它的标识不会出现错误。然而，如果系统有输入，那么就只有当系统的状态仍保持在我们所定义的状态空间范围内时，这种简单的办法才会给出正确的标识结果，就像我们还是对待一个简单系统一样。但是，因为

$$S_{t+1} = F(S_t, I_t)$$

所以，一般来说，某些输入 I 就可能使得系统脱离原来的标识空间。拿前面的例子来说，可能是某些笨拙的油漆工在刷油漆时不慎把红漆溅到了蓝樫

鸟身上。

这种事情发生的几率有多大？当然，我们不可能计算出这种怪事发生的几率，但是我们可以分析这些怪事发生的原因。如果建立图 7-8 的概念模型来表示系统的功能关系，就可以看出，系统的存在不仅决定于环境给予的输入 I，还取决于 F，系统对输入 I 进行解释或者变换的方法。如果所有用来标识"按照这样的方式"建造的系统的特性都是稳定的，那么该系统就能存续下来。

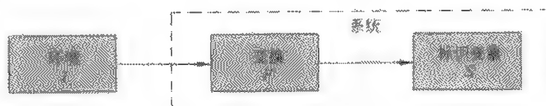


图 7-8　保持同一性的问题

"按照这样的方式建造"，部分含义是指"自然规律"——任何系统建造的规律——部分是指特别的系统规律——那个特定系统的结构。这样，如果蓝樫鸟的部分程序是这样的：

> 1347. 如果某人将红色油漆溅到你身上，飞进一桶松节油中洗个澡。

那么，蓝樫鸟就能在我的认知中存续下来。或者，它的程序可以包含以下内容：

> 3502. 如果某人将红色油漆溅到你身上，停在这棵樱桃树上，直到油漆渐渐滑落。

也可以得到同样的结果。可以这样来理解：如果系统正好能自我发现，或者由观察者发现适应环境变化的一种恰当的变换方法，那么系统就能存续下去。

更加准确地说，我们可以用图 7-9 来描绘保持同一性的一般问题。这里，观察者也被画进了图中，同时也把他判断系统是否保持同一性的程序包括进来了。在这个更为一般的观点中，存续问题取决于如下因素：

1. 环境做什么事情。
2. 系统程序如何变换环境。

3. 用来标识系统的变量是什么。
4. 观察者的程序如何操作这些变量。

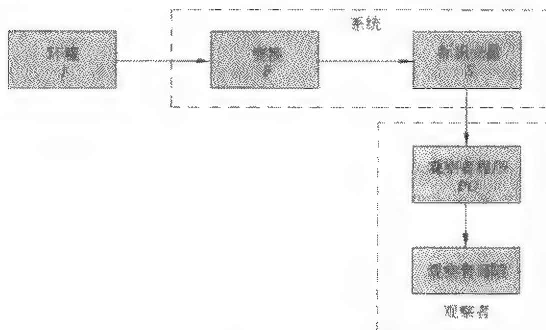


图 7-9 保持同一性的一般化问题

调节与适应

哦！栗树，根深而花茂，
你是叶？是花？还是树干？
哦！身体摇摆如歌，
哦！生辉一瞥如痴，
哪得以翩然舞姿窥欣然舞者？

威廉姆·巴特勒·叶芝[14]（William Butter Yeats）

系统从何而来？身上溅满油漆的蓝樫鸟，不再保持原有系统的存续，却导致了一个新系统的诞生：少了一只蓝樫鸟的同时，多了一只红衣凤头鸟。但在其他例子中，一个系统不再延续下来不一定代之以另一个新系统的诞生；而仅仅是旧系统不再存续。斗转星移，无论是由于系统还是由于观察者的程序没能成功完成系统变换而被弃之路旁，系统的数量会不会越来越少？这里排除存在新变换的源泉的假设。在这种假设条件下，我们无须看到随着一个个熟悉的老系统消逝，世界逐渐变得越来越乏味。

变换来自何方？在于系统内部的什么地方？对此，我们说不出什么一般性论点，不过在白箱模型中，我们确切知道变换来自何方。变换来源于程序。

系统可能有不同的程序吗？当然可能，不过就我们所知，只有我们去改写它才行。嗯，用不很精确的话来说，因为我们允许参数 n 随着输入而发生，这样就得到了一个新的仿真模型。我们还可以将这种简单的想法推向更远的地方。

在白箱系统中，我们有如下指令：

0. 不确定地重复第 1～第 4 行指令

1. 取下一对数(i,j)

2. 令 $t=d_i \times d_j$

3. 令 $d_j=t$ 的最后一位

4. 显示$(d_1,\cdots,d_{100})$

这里用到了几种指令——“重复”、“取数”、“给变量赋值”、“显示输出结果”——不过，计算机还可以进行其他类型的操作。我们可以针对任选的一对输入参数(73,15)而插入如下指令：

1. 5 若输入(i,j)为(73,15)，那么将第 2 行改为如下指令：

2. 令 $t=d_i \times d_j+1$

换句话说，程序自身可以变化，就如同 OCCULT 俱乐部可以抗议神教组织的等级制度而采用新的规则。

在计算机内部，程序变成代码放在存储器中，其处理方式与“状态”和“环境”完全相同。图 7-8 中所有三个小方块，在仿真中都表示了存在计算机内存中的数，没有理由假定其中一些数比其他数更加稳定。特别地，程序自身也能变化，乃至于我们可以不理会将变化看成下式中“未知函数 F”的神秘结果：

$$S_{t+1} = F(S_t, I_t)$$

而代之以将 S 进一步分解成(程序，其他变量)，即(P,V)。这样，神秘 F 的所有遗留物就是输入计算机的规则集合，程序将它们一一解释执行。这是仿真中存在的不变的部分，而西蒙却写道：“几乎没有任何关于计算机的有意思的表述与计算机硬件的本质特征相关。”

在计算机内部，硬件代表“自然规律”，也是仿真得以实施的舞台。虽然

仿真"依赖于"这些硬件条件,戏剧本身,而不是舞台管理才成其为要事。在那里计算机之美作为仿真舞台而得以展现——它允许我们构造试图采用白箱方法而研究的任何模型以及任何有趣的世界。

用功能模型来表示上述说法就是:

$$S_{t+1} = H(S_t, I_t)$$

其中,

$$S = (P, V)$$

H 指"硬件"或者"不变的自然规律",而所有其他东西都**可能**发生变化,包括程序。更进一步说,所有**普遍性**的东西都包含在 H 中了,而系统所**特有的**东西则存在于 S 和 I 之中。所以,任何"特定的系统规律"来源于**后者**,而不是硬件。

到此为止,我们谈到系统变化时,我们隐含了变化是固定的这种假设。既然我们已经成功地将系统变化与系统其他方面的性质放在了同样的水平,就可以对此应用**无关法则**。要理解变化的实质,必须考虑**变化自身发生改变**的可能性。

系统变化的改变对我们来说并不陌生。它们或许要比那些不变的东西稍许难以觉察,或者仅仅是难于想清楚这种现象,但是它们却一直存在于我们的周围。最明显的实例莫过于称之为"学习"的事情了——因为我们可以想像某件事的做法存在于人们的头脑中,就好像程序存在计算机中一样。通过学习,我们可以改变身份,因为"理解就是改变,就是超越自己"。医生和律师的区别不在于他们的骨架结构有所不同。不过,我们也可以通过改变物理结构而改变自己的身份:我们可以通过身体"学习"而成为撑杆跳选手或者是爬竿选手。或者,我们也可以通过使用新工具来拓展身体技能:"农夫"卖掉锄头买回拖拉机就成了"农场主"。

任何系统都能经受决定它对输入进行转换的方式那一部分发生变化——也就是程序的变化,不管这里的程序指的是骨骼、建筑物还是信念。因此,我们可以找到两种办法来保存标识变量。如果系统的状态是(P,V),代表程序以及其他变量,那么系统可以通过固定 P 或者改变 P 来保存其标识变量。

为了了解程序变化的可能性,让我们来看看一个程序到底存在多少种不同的变化形式。在先前的白箱实例中,我们假定共有 10^{100} 个状态,不过只

要用计算机中 100 位的存储器就够了。那么，那里可以出现多少种不同的程序呢？虽然我们的程序非常简短(只有 5 行)，但是一般的程序可以具有任意长度，直到填满计算机中所有存储空间。如果说给定可用的计算机存储器有 1 000 000 位，那么它就可以存储长度为 1 000 000 位的程序——也许是 10 000 行。1 000 000 位中任何一位的变化都会产生一种新的程序，所以在不同时间，该计算机一共可以存储 $10^{1000000}$ 种不同的程序或者说变化。每一种程序对我们挑选出来的那 100 位都会产生特别的影响，但不是所有的程序都会出现不同的系统行为。也就是说，我们观察到的每一个程序都是一系列等价程序中的一个，也都好像是同一个黑箱系统在一段观察时间内所呈现的不同行为结果。

图 7-10 可以帮助读者更好地理解这个道理。虽然这个系统所呈现的行为与图 6-13 或图 6-14 的系统相仿(注意这里采用了新的时间尺度)，但实际上已经发生了一些变化。这个系统不再是逐渐趋向状态 SX 并一直停留在状态 SX 上，这个 OCCULT 俱乐部到达状态 SX 后只停留一小会儿，然后就跳转到其他任意状态。在原来的程序中加入以下一行，就可以得到这张图：

1.5 若系统状态为 SX，则当 $i = j$ 时，为系统随机地选择一个全新的初始状态。

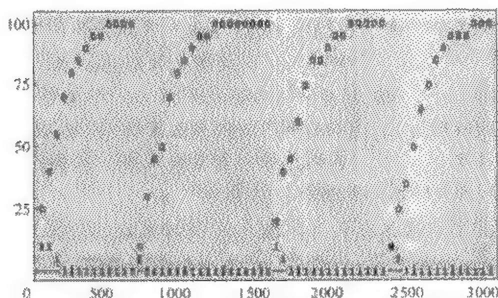


图 7-10　自箱系统的时序图

注意，只要该俱乐部还没有"稳定到"状态 SX，上面这个第 1.5 行就不会起作用，这个俱乐部的特殊性也不会因此显现出来。在这种情况下，该规

则的存在对于不了解这个白箱系统内部结构的那些"黑箱"观察结果来说是不会被发现的。我们知道它的存在是由于我们把它放在那儿。对于那些以状态 SI、SV 以及 SVI 为初始状态的 *OCCULT* 俱乐部而言，这个第 1.5 行也完全不会对系统产生任何作用，我们也无法因此而看出两个程序之间的差异。

还有一种情形也会让这个第 1.5 行不起作用。由于该俱乐部的新程序规定在开始新一轮变化之前，必须有一对输入数(i,j)，其中 $i=j$，那么假如系统不允许出现"自我教育"这样的情况，结果如何？这样的话，我们看到的就是图 6-13 那样的趋势——新系统的行为与没有这个第 1.5 行的原来系统完全一样。实际上，图 6-13 就是这样画出来的，而不是根据原来系统的程序得到的，因为密奥教不相信任何冥想，大法师从不允许自我教育。

由不确定性原理可知，我们无法分辨出哪个是有第 1.5 行但没有冥想的俱乐部，哪个又是按原来规则运行的不允许冥想的俱乐部。所以，如果大法师突然取消了限制自我冥想的规矩，因此该系统可以到达状态 *SI*——图 6-13 中出现一个突然的跳变——我们应该不会大跌眼镜了。我们应该不会感到惊讶，然而确实大跌眼镜。为什么？因为我们还以为系统的变化是与系统本身分离的，或者说可以分离的一部分，而不应该跟随系统产生变化。

直到此时，我们一直假设系统是由它的某些变量构成的状态，而不是它所呈现出的某些行为来标识的。在叶芝的诗歌中，我们是靠识别舞者而非舞姿来确认栗木的身份的。现在，到了抛弃这种假设的时候了。但是，我们必须抛弃它吗？我们如何才能做到从舞姿中辨认出舞者呢？

由于我们已经把程序变成系统状态的一部分，即(P,V)，用系统行为来标识系统在理论上等同于要求这里的程序 P 属于程序的一个集合，这些程序能够产生某种范围内的系统行为。换句话说，程序应该是稳定的。系统可以改变自己的程序，但不应该引起行为上的突变以至于被认作另外的系统。针对这个要求，系统程序所能允许的变化范围到底又有多大呢？用我们的计算机例子来说，在程序代码的变化量和它所产生的结果之间没有什么**必然**联系。极小的代码变化可能带来千差万别的结果，而大量更改程序代码也可能不会产生引人注目的结果。

请看下面这个程序片断：

492. 若 $x+1=y$，则执行子过程 A；否则，执行子过程 B。

假如，在计算机存储器中，"＋"变成了"－"，就有如下代码：

492. 若 $x-1=y$，则执行子过程 A；否则，执行子过程 B。

由白箱系统的定义可以看出，这种从加法到减法的变化是可能出现的变化中最小的一种了：只是一"位"信息的改变。然而从系统的外部表现来看——也就是黑箱系统观察者的观察结果来看——系统行为的变化可能与任意两个子过程 A 和 B 之间存在的差别一样大。

这个例子很有用处。计算机系统可以因为一位信息的改变而失效；在生物组织中，基因物质中单个分子的变化可能产生与父母完全不同的后代；在法律事务中，插入或删除一个逗号可能导致翻天覆地的变化。有一个故事说的是一位纽约商人正在考虑收购英国的一家公司，那时还没有越洋电话。他的代理人从英国发来电报称对方索价 1400 万美元，这比他希望的价格高出了许多。于是他回电报称：

NO. PRICE TOO HIGH.①

在电报信号传递过程中，不慎漏掉了其中的逗号②，所以他的代理人很负责任地以 1400 万美元的价格完成了收购。

因为我们以为白箱系统的微小变化也不过会带来黑箱系统微乎其微的改变，所以这样的故事就让我们感到十分惊奇。之所以存在这种信念，因为我们的周围充满了一个个的系统，这些系统的结构"在很大程度上是受控的，其控制来自于能够承受潜在故障、并具备针对潜在故障的预防措施"。故事里的纽约商人居然敢用几百万美元来承受电传过程中遗漏逗号的风险，而没有多用几个字把意思表达清楚，他实在是称得上个大傻瓜。由于生物组织可以因单个分子的突变而完全变成其他东西，所以生物学家在很多方面做了细致安排来防止遗传物质发生变异，并且采取预防措施使得一旦变异产生，也就使该遗传物质失效。因此，源自生活经验的**效果原理**[16]常常有效：

结构上的微小变化往往只引起行为上的些许改变。

或者，也可以这么表述：

白箱系统的微小变化，通常只会导致黑箱系统的微小改变。

---

① 意为：不，价格过高。——译者注

② 文字为：NO PRICE TOO HIGH. 意为：任何价格都不算高，即不计代价。——译者注

根据效果原理，我们常常希望将一个系统分成固定的和变化的两个部分，其中，固定的部分——"结构"——是产生系统行为的原因。前文引用过斯帝沃德的说法，就是这种态度的一个很典型例子，当然在形形色色的科学文章中这种认识几乎俯拾皆是。例如，赫伯特·斯宾塞①这样写道[11]：

> 系统部件之间永恒的关联性才是将系统中许许多多的个体组合成一个整体，并且不再呈现个体特性的原因。

换句话说，按照这个观点，我们可以将系统变量分解成两个部分：变量集合 P 和变量集合 V。变量集合 V 代表系统"行为"，或者"功能"，它们与不变的系统"结构"P 存在某种可变的函数关系。虽然我们可以按照系统功能对系统分类，这只不过是投机取巧的一种办法，因为"真正的"的同一性或系统标识存在于"系统部件之间永恒的关联性"——即"结构"——中间。

与此"结构"观点互为补充的是所谓"行为"观点，它认为我们了解系统"结构"的首要途径是观察系统的行为。对于倡导行为观点的那些人来说，**效果原理**也可以反过来说：

我们发现，系统行为的微小变化通常是稍稍改动系统结构的结果。

可以把这两种不同的观点分别称为"白箱"和"黑箱"，然而在科学论争的历史上，它们有过各种各样的名称。在生物学中，解剖学家试图通过剖析静态组织来了解生物体变化的原因——通过存在了解行为；与此相反，动物行为学家则试图通过观察变化来了解永恒不变的东西——通过行为了解存在。在生物学的另一个方面，存在分子生物学家和组织主义学家的对立；物理学界有机械力学与热力学的共存；心理学界有生理学者与行为主义学者之分；艺术世界有线条主义和色块主义的区别。我们不禁要问：到什么时候科学家们才能最终发现存在互补的世界观呢？

"调节性"和"适应性"这对概念是从白箱—黑箱争论的双方共同走到我们面前的，所以其内涵的明确程度取决于是否明确地划分了 P 和 V。在白箱观点看来，系统如果能够对应固定的 P 而保持稳定的 V，就可以说它具有调节性；而在黑箱观点看来，系统保持在稳定的 V 上这一现象证实了该系统

---

① Herbert Spencer（1820—1903），英国哲学家，社会学家，认为哲学是各学科原理的综合，将进化论引入社会学，提出"适者生存"说，著有《综合哲学》、《生物学原理》、《社会学研究》等。——译者注

的 P 或多或少是固定的。虽然，调节性不一定意味着系统保持不变，但是，它确实隐含了系统“可变部分”或者“功能单元”所发生的变化是“频繁的”、“小的”或“微不足道的”、“可逆的”或“循环的”这些意思。

白箱观点认为适应性表明系统状态 P 发生了改变；而黑箱观点则表示适应性可以从系统行为的“重要”改变看出来。双方都认为这些变化几乎就是系统“固定部分”或者“系统结构”发生了“少见的”、“大的”或“极为重要的”、“不可逆的”或“渐进的”的改变。然而，在任何情形下，P 的变化并没有大到足以改变系统的身份——要是这样的话，该系统就不再存续了。

用来区分“调节性”、“适应性”以及“不再存续”的名词术语与用来伪装绝对论的各种名词术语存在关联性。实际上，并不存在绝对不变的办法把“调节性”与“适应性”区别开来，或者把“适应性”与“不再存续”区分开来。很多时候，我们没有完完整整地将系统按照(P,V)形式进行分解，而只是给出粗略的划分，以至于同一个变量可能既属于 P，又属于 V。

一旦发现了形成难题的原因，困扰哲学家和科学家们的绝大多数主要难题都会轻易地烟消云散。在生物学中，能够呼吸的鱼类是变成了另外物种，抑或只是适应环境的结果？在人类学中，学会其他民族语言和部分生活习性的人群，是形成了一种新文化？适应了某种文化？还是融入他所学习的那种文化而成为其中一部分？在组织机构理论中，一个组织获得某项新任务后变成了一个新的组织？还是老组织适应了新的任务？

由于呼吸方法既是变迁的一部分，又是辨认“鱼群”的一个特征；由于语言既是一种文化变迁，又是标识“文化”的一个特征；还由于完成的任务既是组织机构进化的一部分，又是标识“组织机构”的一个特征；上面提出的任何问题都无法回答——因为无论是适应性的定义还是标识特征，都首先错误地假定了我们能对系统做出完美无瑕的分解。

最近一些年来，对“自适应机器”[18]的研究形成了一股汹涌的热潮，而“自适应机器”同时也引起了那些信仰“自然”适应性的学者们的激烈反对。假如我们要为一个适应性系统建立仿真模型，我们必须写出能够发生变迁的程序代码。然而，如果系统呈现出某种“适应的”行为，批评家们会反击说该系统具有的不是适应性，而是调节性，原因是仿真程序被故意设计成了可变代码。因此，所有观察到的变化，不是针对原有系统自身结构而言的，所以，系统不具有适应性——因为适应便意味着改变结构。



不过在某些情况下，采用上面这样的思维方法是有益的。比如说，它可以促使我们思考人类的学习是否具有“适应性”这一问题，因为人的大脑结构存在变化的可能。由于遗传机制的结构是可变的，那么生物的适应性又是怎么回事？然而，这些问题到底说明了什么？“适应性”和“调节性”不是“真实的”——它们只不过是思维的工具。由于它们非常有用，人们常常滥用这些思维工具，但这不能成为抛弃、甩掉它们的借口。请尝试学会如何安全有效地使用这些思维工具，而不要把它们扔得远远的。

旧车定律

> 紧张是生物体内非特定的外来变化所导致的某种特定综合症所表现出来的状态。
>
> 紧张的各种表现元素可以反映出生物体内任何时候所有各种调节作用的总和。
>
> **汉斯·塞尔耶[19]（Hans Selye）**

互补的观点可能造成有关适应性、调节性和系统标识的迷失等概念之间的混淆——同一观点中关于调节性和适应性的互补关系往往是造成混乱的原因。例如，假设有一个手头稍紧但拥有一辆旧车的人。他用在汽车上的支出——这里可以把它看成一种调节成本，主要是汽油和机油。它们就像是受控的成本，因为在正常使用汽车的情况下，这种支出的发生是周期性的。

假设这个人仔细记录下来用在这辆旧车上的每一笔花费，他不时发现每百升汽油的里程数正在降低，最终，将发动机送去检修来节省汽油开支就比较合算了。他还可能开始注意机油的消耗量，到某个时候他就应该花钱换一个活塞环，重新镗镗汽缸，或者要买一台新的发动机。之所以要花大钱来做这些大修维护，可以看成一种适应，其原因在于调节的成本已经上升到了这样一个特殊点，以至于大修维护就变成了合算的做法。通过适应环境变化，调节的成本再度降低。

当然，在经过长时间的使用后，总有一个时刻除了改变旧车的身份这一招——可能是买一辆新车——再没有其他办法能降低使用汽车的花费。但

是在此时刻到来之前，这辆车的生命旅程中会有较长一个时期调节能力持续下降，并且间杂着几次大修来适应环境变化。我们对各种系统的这种生命周期过程太习以为常了，其原因总会变得清晰起来，可以将其提升为一般系统的一条规律——旧车定律。

用一般性的语言而不是旧车实例中的语言，该定律是指：

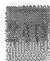
1. 调节作用发挥得很好的系统不需要适应性变化。
2. 系统可以通过适应性变化来简化它的调节工作。

旧车定律的例子比比皆是。生活得好、缴足了税的农场主不需要接受已有的代理商的建议而采用新的农用设施，但是当他的生活水准降到底线时，他就会几乎急于尝试任何事情。“赢得”战争胜利的国家继续着自鸣得意的生活方式，而战争的“失败者”对自己国家的结构切实进行一些不能用“受到战争破坏”来解释的社会变革。“一直得 A”的学生不需要学习太多的新东西，即使他远远没有达到他应该可以达到的那种水准，而“试用”的学生更有可能思考人生之路应该如何选择这个问题。只有当获得过荣誉称号的学生发现自己已经完全适应了职业岗位时，他才发现正是那些工作中的不满意迫使自己做出了以往做不到的改变。

生物学中，日常开支——调节的成本——可以用塞尔耶提出的“紧张”或“压力”一词来表示。旧车定律运用于生物学中，就是能克服压力的组织无须适应环境变迁，而假如压力超出了可以承受的范围，这个组织一定会发生适应性的改变，或者死掉。因此，系统出现外在变化提醒观察者应注意到系统的调节成本已经上升，即便上升的幅度还小得微不足道。

在精神病治疗中也有类似情形，精神分析家从病人的适应性表现来追溯他们内在的紧张情绪。因为引发心理压力的本质表面上看是任意的，所以上面这种启发式的规则就很必要了。效果法则似乎已不能适用于精神病人。有些人一看到烟灰缸里的烟头就会无比紧张，还有些人看到松开的鞋带就性欲勃发。另一方面，有些人看到用汽油弹打人可以无动于衷——而这是一种大多数人都认为足够引发内心压力紧张的可怕体验。

作为精神病学者面临的困难的一个实例，请检点一下自身——或自我——它与个人所表现出的独特的、少有的行为模式有密切关系。如果一个人说自己“脾气很坏”，那么即使他所处的环境并不适合发脾气（仅对我们



而言),他自己也无法控制住自己。即便会影响他处理工作、友谊、家庭关系等问题,他也还会这样在社会上呆下去。对他来说,发脾气就是他的个人标志——而不是面临失败威胁的那些事情。他设法过滤掉了环境中的警告信号,在我们看来,他尽可能采用一种调节的方法而避免在自己的行为上发生适应性变化。然而,在他本人看来,他之所以努力去调节自身其目的就是为了保持个人独特的标志,也就是设法在这个世界上生存下去。他的这种调节能力越强,就越不可能改变他那令人厌恶的作派。要想改变他,惟一希望是改变他标识自己特性的方法,或者代之以增加他的痛苦。

上面这个精神病学领域的例子并不会因为我们自认为优秀出色而不对我们发生作用。每个人都同样会拥有对世界的一些看法并且紧抓不放,如果这些观点正好能被社会所接受,那么我们就可以毫不紧张地将它们表达出来。紧张感的松弛可能正是乐观天性的来源。例如,如果我们对"事情其实并非我们所知"这种说法不能完全认同,那么即使没有得到精神病医师的教诲,我们也应该能够将自己的相关观点部分地表达出来。

例如,人们对于世界上的事物一般是用随意和直觉的方式进行辨别的,所以如果需要理智地讨论适应性问题就需要进行特别的准备,这样也容易犯以貌取人的错误。校友会给毕业生寄去老教学楼的水彩画,试图说服他们这就是他的母校——画面中的学生只有模模糊糊的影子,有意隐去飘逸的长发。学生是大学的匆匆过客,大学的标志是爬满常青藤的大楼以及常青藤掩映下的教授的身影。

也许更为糟糕的是,大学是靠常青藤覆盖的校名来标识的。只要校名不改,大学校园里所发生的巨大变化都会从我们的眼皮底下悄悄溜走。在这方面,政党的例子最为明显。"布尔什维克"和"民主党"的党内变化都被掩盖在它们的名字之下。本书的写作过程也是一个标准的例子:虽然每一页书稿都经历了扔进废纸篓的命运,但书名自始至终没有改变,这就决定了现在这本书就是开始时的"那本书"。

只要我们还是如此随意地识别系统,我们对系统的行为特征就不可能有多么充分的普遍理解了。不过,我们仍然完全有资格对任意选定的系统进行辨别,其秘诀在于我们只对感兴趣的部分来使用辨别、标识系统的种种方法,而不用理会自己不感兴趣的内容。旧车定律所能减轻的内在"压力"可能就是观察者本身感受的那种压力,那种因不合"实际"——客观世界或

者个人内心——的观点所带来的精神熬煎。所以，我们可以从观察者的角度给出旧车定律的定义：

1. 如果一种看待世界的方法不对观察者产生压力，它就不需要改变。
2. 如果一种看待世界的方法对观察者产生了压力，就需要加以改变。

也可以换一种方式来描述：为什么要对古老的世界观注入新的活力？为什么要花费巨大精力去修正它们？为什么有时候又要重新取舍？在结束我们的系统化思维导论的时候，我们应该增加哪些更好的关于系统问题？

参考读物

推荐阅读

1. R. W. Gerald, "Units and Concepts of Biology." *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Walter Buckley, Ed., pp. 51—58. Chicago: Aldine, 1968.
2. Robert S. Morison, "Death: Process or Event" *Science*, 173, **694** (August 20, 1971).
3. Leon R. Kass, "Death as an Event: A Commentary on Robert Morison." *Science*, **173**, 698 (August 20, 1971).

建议阅读

1. Hans Selye, *The Stress of Life*. New York: McGraw-Hill, 1965.
2. Mikhael Bakunin, *God and the State*. New York: Dover, 1970.

思考题

1. 一般性问题

在一张纸上写下你生活中遇到的各种系统，比如一棵树、森林、动物、生意、机器、建筑物、河流或者道路。请尝试为找出每一个系统的寿命，并请讨论加在这个系统上的寿命这一属性。

参见：Aldous Huxley，*After Many a Summer Dies the Swan*. New York：Harper，1939.

书中用了大量篇幅讨论怎样才能知道池中的鲤鱼能活多久。

2. 计算机仿真

在我们的OCCULT系统中，系统状态变迁可以用下面的10×10表格来描述，每个格子中填入交叉的两个点之积的最后一位数。下表已经给出了本题的左上角部分：

	0	1	2	3…
0	0	0	0	0…
1	0	1	2	3…
2	0	2	4	6…
3	0	3	6	9…
4	0	4	8	2…

不过，任何一张这样的表格都可以用来表示系统的状态变迁，而且值得特别指出的是，状态的所有或部分位可能是交叉的。请写出含有状态和变迁互相交叉的表格的一个计算机仿真程序，并研究该系统的行为。

3. 政治学

请对以下关于"平衡"的论述[illegible]发表见解：

一个处于完全平衡状态的社会可以这样定义：在给定的时刻，社会中的每一个成员拥有他所期望的一切并因此感到满足；或者也可

以这样定义，它是一个类似蜜蜂、蚂蚁等社会化昆虫的世界，社会中的每一个成员对给定的刺激能表现出可以预计的反应。显然，人类社会只可能处于一种不完全的平衡社会，其中，个体与个体、团体与团体之间存在变化的、互相冲突的社会愿望和社会习惯，他们互相调节适应，而这种调节作用十分复杂，以至于无法用现有的数学方法来描述清楚。

4. 角色理论

在我们辨认一个人的身份时，常常用到他们的"角色"。假如我们问"那是谁?"可能得到"那是哈利·克兰克"这种答案，但是更多时候我们会听到诸如"邮递员"、"屠夫的帮手"、"隔壁邻居"等回答。角色理论是社会学和社会心理学中一个比较成熟的分支，与本章中讨论的身份识别等问题有很强的联系。请讨论辨识变量、可辨认的行为以及角色理论中"角色"等概念之间的关系。

参见：David Krech，Richard Crutchfield，and Egerton L. Ballachey，*Individual in Society*，New York，McGraw-Hill，1962.

5. 福利事业

丹尼尔·笛福(Daniel Defoe)在1703年出版了一本内容同标题的小册子——《施舍不是善心，雇佣穷人是国家的苦难》(Giving Alms no Charity and employing the Poor a Grievance to the Nation)。此后，类似的争论时有发生：如果工人的收入得到保障，那么他们就无需因为收入过低或者工作过苦而设法改变自己。如果没有这样的保障机制——如最低生活保障线等措施——工人们就必须在改变自己以适应社会或因饥饿而死亡两者中做出选择。请用一般系统论的观点来讨论上面的论点。

6. 外交

虽然"均势"这一概念早在古希腊时代就已存在，但是它是在1854年由休谟(Hume)第一次正式提出的。事实上，自1648年的条约生效以来，当时的欧洲社会已经按照均势系统运作了200多年。均势理论的重要性可能仅仅在于理论家们能在早期很快地识别出社会瓦解的信号。

把均势理论作为一种调节手段来加以讨论：均势系统中出现哪些事件就可以看成系统发生了适应性改变？又有哪些事件可以作为均势系统灭亡的标志？现在欧洲社会还存在这样的均势系统吗？

参见：Karl Polanyi，*The Great Transformation*，Boston，Mass.：Beacon Press，1964.

7. 图像处理

列出用于图像处理的常用标准变换方法，如旋转、放大缩小、调色、消斑、直线化、填补等。讨论可以由这些变换的不同组合所组成的，并对于给定的图像可以按照与原始图像"相同"和"不同"来分类的各种标准化方法。请举例说明从"相同"类型中选择一些标准变换并以不同顺序对原始图像进行变换，可能得到"不同"的变换后图像。

8. 语言

回答以下问题：

> 任何具体词汇的一个最为显著的特征是它能以任何字体、颜色、大小、以书写或速记形式出现。如果采用语言说出这个词，它可以具有任何频度、速度、音调，而且在绝大多数语言中，可以具有任何语调。所有这些不同的表现形式可能出现在"相同"的词汇上。那么，相同性到底存在何处？[31]

9. 神经学与教育

最近，越来越多的争论围绕着是否应该给被诊断为患有"感觉统合失调"(MBD)的学龄儿童服用安非他明等药物。这种病症完全由孩子的行为表现来判断。最早，这种病症被认做"脑功能障碍"，但是没有人发现患者脑部发生任何器质性病变。问题是做出该种病症诊断所依据的症状范围很广，所有症状在某些时候又是"正常"的表现，而在这里就被看做是MBD的病态症状。其症状有：学习成绩不佳、表现冲动、易分散注意力、情绪变化快、缺乏协调性、多动、容易分心。如此看来，一个与老师定义的好孩子相左的孩子多么容易被贴上MBD的标签。请部分根据MBD的例子讨论关于标定行为"疾病"的问题何在。

参见：Paul H. Wendler，*Minimal Brain Dysfunction in Children*，New York：Wiley，1971.

10. 生态学

讨论以下看法：

> 蒸汽机和老鼠的数量或者任何其他生态机器的显著区别在于有生命的系统必须使用它的一部分能量来制造和修复自身。

参见：Lawrence B. Slobodkin，*Growth and Regulation of Animal Populations*，p. 132. New York：Holt，Rinehart and Winston，1966.

11. 医药

讨论以下看法：

> 大多数针对死亡和垂死的讨论常常是或多或少无意识地从一个观点跳到另一个观点。一方面，"死亡"这一常用名词代表了一种明确定义的事件，即使得生命瞬时终结的那一步；另一方面，垂死被认为是一个从生命之初就开始的一个漫长的过程，直至构成生命体的最后一个细胞停止进行能量转换。[32]

参见：Leon R. Kass，"Death as an Event：A Commentary on Roberts Morison，" *Science*，173，698 (20 August 1971).

12. 海洋学或海洋生物学

尽管鲨鱼的身体已经从原先60～70英尺长大大缩短，但是至今它们已经在地球上存活了2亿年左右。它们对环境具有卓绝的适应能力，地球上只有蟑螂能与之相比。

鲨鱼的身体已经缩短了大约10英尺，为什么鲨鱼还是鲨鱼而没有变成其他动物？如果2亿年以后人类的身高从现在的多少英尺变成多少英寸，人类还将是人类吗？

参见：Shark-Tagging：Keeping Track of One of the World's Great Survivors. *Science*，180(25 August 1972).

13. 终极问题

2亿年后，人类还会生存在地球上吗？

注 释

第1章

[1] John R. Platt, "Strong Inference." *Science*, **146**, No. 3642, 351 (1964).

[2] Paul W. Richards, "The Tropical Rain Forest." *Scientific American*, Vol. 229, #6, Dec. 1973, pp. 58-67.

[3] Eugene P. Wigner, Nobel Prize Acceptance Speech, December 10, 1963. Reprinted in *Science*, **145**, No. 3636, 995 (1964).

[4] Karl Deutsch, "Mechanism, Organism, and Society." *Philosophy of Science*, **18**, 230 (1951).

[5] Anatol Rapoport, "Mathematical Aspects of General Systems Analysis." *General Systems Yearbook*, **XI** 3 (1966).

[6] W. Ross. Ashby, "Systems and Their Information Measures," *Trends in General Systems Theory*, George J. Klir, Ed., pp. 78-97. New York: Wiley, 1971.

[7] Richard Feynman, *The Character of Physical Law*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1965.

费曼引用这句话时实际上没有任何倾向，我们之所以在这里引用费曼的话，主要是为了向读者说明物理学家对于牛顿的发现看法与我们的观点有所不同。费曼说道：

"……我对人类智慧的兴趣远不如对自然界遵守如此美妙而简单的规律所带来的奇迹的兴趣。所以，我们的主要注意力不应该放在努力发现人到底有多聪明，而应该放在努力探索大自然到底有多聪明上。"

当然，我们的兴趣正好与他相反，这也说明费曼是本章和第二章的一个很好的补充例子。

[8] Erwin Schördinger, *What is Life?* Cambridge: Cambridge University

Press, 1915.

[9] Ludwig von Bertalanffy, *General Systems Theory*, p. 49. New York: Braziller, 1969. Copyright © 1969 by George Braziller, Inc. Reprinted with the permission of the publisher.

[10] D'Arcy Thompson, *On Growth and Form*, abridged ed., John Taylor Bonner, Ed., pp. 262-263. Cambridge: Cambridge University Press, 1961.

第 2 章

[1] Robinson Jeffers. "The Answer." In *The Selected Poetry of Robinson Jeffers*. New York: Random House, 1937.

[2] Geraldine Colville and H. M. Colville, *Matisse. From the Life*, p. 124. London: Faber and Faber, 1960.

[3] J. W. S. Pringle, "On the Parallel Between Learning and Evolution." In *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Walter Buckley, ed., pp. 259-280. Chicago: Aldine, 1968.

[4] Claude Bernard, *An Introduction to the Study of Experimental Medicine*. New York: Dover, 1957.

[5] Edward T. Hall, *The Silent Language*. Garden City, N. Y.: Doubleday, 1959.

[6] Thomas S. Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, 1962.

[7] Max Planck. *Scientific Autobiography, and Other Papers*. New York: Philosophical Library, 1949.

[8] Hans Reichenbach, *The Rise of Scientific Philoshophy*. Berkeley, Calif.: University of California Press, 1963.

[9] Hans Selye, *The Stress of Life*. New York: McGraw-Hill, 1956.

[10] Kenneth Boulding, "General Systems as a Point of View." In *Views on General Systems Theory*, Mihajlo D. Mesarovic, Ed. New York: Wiley, 1964.

[11] Hans Reichenbach，参见该作者前述著作。

[12] Kenneth Boulding，参见该作者前述著作。

[13] Jean Piaget, *The Language and Thought of the Child*. Cleveland: World, 1955.

[14] Selye，参见该作者前述著作。

[15] Max Wertheimer, Ed., *Productive Thinking*, pp. 269-270. New York: Harper, 1959.

[16] Karl Menninger, *Theory of Psychoanalytic Technique*, p. 14. New York: Basic Books, 1958.

[17] Anatol Rapoport, In *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Walter Buckley, Ed., p. xiii. Chicago: Aldine, 1968.

[18] Alfred North Whitehead, *Science and the Modern World*. New York: Macmillan, 1926.

[19] Kenneth Boulding，参见该作者前述著作。

[20] Mark Kac, "Some Mathematical Models in Science." *Science*, 166, No. 3906, 695 (1969).

[21] Paul Samuelson, *Economics* (8th ed.), pp. 19-23. New York: McGraw-Hill, 1970.

[22] Gerald M. Weinberg, "Systems Research Potentials Using Digital Computers." *General Systems Yearbook*, Ⅷ, 145 (1963).

[23] Gerald M. Weinberg, "Natural Selection as Applied to Computers and Programs." *General Systems Yearbook*, XV, 145 (1970).

[24] Daniela Weinberg, "Models of Southern Kwakiutl Social Organization." *In Cultural Ecology and Canadian Native Peoples*, Bruce Cox, Ed. Carleton Library Series, Insitute of Canadian Studies. Ottawa: Carleton University (1974).

[25] G. M. Weinberg and Daniela Weinberg, "Biological and Cultural Models of Inheritance." *General Systems Jounral*, Ⅰ, No. 2 (1974).

[26] Gerald M. Weinberg, *The Psychology of Computer Programming*. New York: Can Nostrand Reinhold, 1971.

[27] Donald Gause and G. M. Weinberg, "On General Systems Education." *General Systems Yearbook*, XVIII, 137 (1973).

[28] Ludwig von Bertalanffy and Anatol Rapoport Ed., *General Systems Yeabook*. Vols. 1-19. Ann Arbor: Society for General Systems Research, 1956-1974.

[29] Ludwig von Bertalanffy, *General Systems Theory*, New York: Copyright© 1968 by George Braziller, Inc. Reprinted with the permission of the publisher.

第3章

[1] W. Ross Ashby, "Principles of the Self-Organization Systems." In *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Walter Buckley, Ed. Chicago: Aldine, 1968.

[2] Robert Herrick, "Delight on Disorder." In *The Complete Poetry of Robert Herrick*. Gardern City, N. Y.: Doubleday, 1963.

[3] Simone de Beauvoir, *Memoirs of a Dutiful Daughter*. Baltimore: Penguin Books: 1958.

[4] Albert Einstein, "Maxwell's Influence on the Evolution of the Idea of Physical Reality." 1931(这是这篇文章的第一句话)。

[5] E. H. Gombrich, *Art and Illusion*, no. 5 in the A. W. Mellon Lectures in the Fine Arts, Bollinger Series XXV© 1960, 1961, 1969 by The Trustees of the National Gallery of Art, Washington, D. C., reprinted by permission of Princeton University Press.

[6] Eleanor Gibson, "The Development of Perception as an Adaptive Process." *American Scientist*, **58**, 98 (1970).

[7] Ward H. Goodenough, *Culture, Language, and Society*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1971.

[8] James G. Miller, "Living Systems: The Organization." *Behavioral Science*, **17**, No. 1 19 (1972).

[9] Clarence Lewis and Cooper Langford, *Symbolic Logic*, p. 256 Peter Smith, 1959.

[10] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets." *Information and Control*, 8, 338 (1965).

[11] Arthur D. Hall and R. E. Fagen, "Definition of System." In *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Walter Buckley, Ed. Chicago: Aldine, 1968.

[12] 我们应该引入我们需要的无论何种关于集合的概念,但是读者或许愿意保持自己关于集合的理论。以下是一些很有价值的参考文献:

P. R. Halmos, *Naive Set Theory*. Princeton, N.J.: Van Nostrand, 1960.

S. Lipschutz, *Set Theory and Related Topics*. New York: Schaum, 1964.

Zadeh,前引该作者著作。

W. Ross Ashby, *An Introduction to Cybernetics*. New York: Wiley, 1961.

W. Ross Ashby, "The Set Theory of Machanism and Homeostasis." *General Systems*, Ⅸ, 83(1964).

[13] Antoine de Saint-Exupery, *Le Petit Prince*, p. 19, Paris: Gallimard,(作者的英文译著)。

[14] S. S. Stevens, "Mathematics, Measurement, and Psychophysics." In *Handbook of Experimental Psychology*, S. S. Stevens, Ed., New York: Wiley, 1962

[15] Crane Brinton, *The Anatomy of Revolution*, pp. 178-9. New York: Vintage Press, 1965.

第4章

[1] W. Ross Ashby, *Introduction to Cybernetics*. New York: Wiley, 1961.

[2] G. M. Weinberg, "Learning and Meta-Learning Using a Black Box." *Cybernetica*, XIV, No. 2 (1971).

[3] Morton H. Fried, *The Study of Anthropology*. New York: Crowell, 1972.

[4] John R. Dixon and Alden H. Emery, Jr., "Semantics, Operationalism, and the Molecular-Statistical Model in Thermodynamics." *American Scientist*, 53, 428 (1965). Reprinted by permission of *American Scientist* Journal of Sigma Xi, The Scientific Research Society of North America.

[5] R. E. Gibson, "Our Heritage from Galileo Galilei." *Science*, **145**, 1271 (September 18,1964).

[6] Robert R. Newton, *Ancient Astronomical Observations and the Accelerations of the Earth and Moon*. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1970.

[7] Kenneth Boulding, *Economics as Science*, p. 115. New York: McGraw-Hill, 1970. Used with Permission of McGraw-Hill Book Company.

[8] James C. Maxwell,来源遗忘、无法追忆。

[9] Neils Bohr, *Essays*, 1958-1962. New York: Wiley, 1963.

[10] Bohr,参见该作者前述著作。

[11] Robert Redfield, *Tepotzlan: A Mexican Village*. Chicago: University of Chicago Press, 1930.

[12] Oscar Lewis, *Life in a Mexican Village: Tepotzlan Restudied*. Urbana: University of Illinois Press, 1951.

[13] Oskar Morgenstern, *On the Accuracy of Economic Observations*. New Jersey:

Princeton University Press, 1963.

[14] Thomas R. Blackburn, "Sensuous Intellectual Complementarity in Science." *Science*, **172**, 1003(June 4,1971).

[15] James Loy, Review of *Social Groups of Monkeys, Apes, and Men*, by M. R. A. Chance and C. J. Jolly. *Science*, **172**(May,1971).

[16] W. M. Elsasser, "Quanta and the Concept of Organismic Law." *Journal of Theoretical Biology*, **1**, 27 (1961).

第 5 章

[1] Kurt Vonnegut, Jr. *Cat's Cradle*, pp. 67-68. New York: Dell, 1970. Copyright © 1963 by Kurt Vonnegut, Jr. Reprinted by permission of the publisher, Delacorte Press/Seymour Lawrence.

[2] Henry P. Bowie, *On the Laws of Japanese Printing*. Gloucester, Mass.: Peter Smith, 1911.

[3] Leo Tolstoy, *Childhood, Boyhood, and Youth*. New York: McGraw-Hill, 1965. Used with Permission of McGraw-Hill Book Company.

[4] Elliott Jaques, *The Changing Culture of a Factory*. London: Tavistock, 1951.

[5] Galileo, "Dialogo," Opere, VII, p. 129. In Herman Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, p. 16. New York: Atheneum, 1963.

[6] Hermann Hesse, *Magister Ludi*, In Eight Great Novels of H. Hesse. New York: Bantam Press, 1972.

[7] In *One Hundred Poems from the Japanese*, p. 51, Kenneth Rexroth, ed. And Trans. New York: New Directions, 1959.

[8] Oskar Morgenstern, *On the Accuracy of Economic Observations*. New Jersey: Princeton University Press, 1963.

[9] P. W. Bridgman, *The Way Things Are*, p. 109. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1959.

[10] Ernst Mayr, *Animal Species and Evolution*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1963.

第 6 章

[1] P. W. Bridgman, *The Way Things Are*, p. 3, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1959.

[2] Herbert A. Simon, The Sciences of the Artificial, p. 18. Cambridge, Mass.:



MIT Press, 1969.

[3] Henry L. Langhaar, *Dimensional Analysis and Theory of Models*. New York: Wiley, 1951.

[4] 学习模拟计算机的一个好起点就是:J. R. Ashley, *Introduction to Analog Computation*. New York: Wiley, 1963。

[5] G. M. Weinberg, N. Yasukawa, and R. Marcus, *Structured Programming in PL/C*. New York: Wiley, 1973.

[6] W. Ross Ashby, *Introduction to Cybernetics*. New York: Wiley, 1961.

[7] 对于没有被数学洗过脑的人来说,一般的拓扑学书籍是难以读懂的。有兴趣的读者可能愿意看看:Richard Courrant 和 Herbert Robbins 在以下文献中对拓扑学的讨论:

Topology: *The World of Mathematics*, James R. Newman, Ed. New York: Simon and Schuster, 1956- 1960 (4 卷本)。具备更多数学知识但对拓扑学缺乏了解的读者可以参考以下文献:M. Mansfield, *Introduction to Topology*. Princeton, N. J. Van Nostrand, 1963。

[8] Hans Elias, "Three-Dimensional Structure Identified from Single Sections." *Science*, **174** 993(December 3,1973).

[9] Edwin Abbott, *Flatland*: *A Romance in Many Dimensions*. New York: B & N Press, 1963.

[10] George Kirkland, 农场工人。Ronald Blythe 在以下著作中引用了他的话:Ronald Blythe, *Akenfield*: *Portrait of an English Village*, p. 99. Middlesex, England: Penguin Books, 1972。

[11] 对时间本质的这个观察结果以及其他许许多多的观察结果,都可以在以下文献中找到:Leonard W. Doob, *Patterning of Time*. New York: Yale University Press, 1972。

[12] 作为例子,可参见:Murray R. Spiegel, *Laplace Transforms*. New York: Schaum, 1965。

[13] Ingrid U. Olsson, Ed., "Nobel Symposium 12: Radio-Carbon Variations and Absolute Chronology." New York: Wiley, 1970.

[14] 请注意将两个变量画在同一张图上时的变化——画在同一张图上是一种确保相同的时间尺度的明智做法。

[15] L. Brillouin, "Life, Thermodynamics, and Cybernetics." *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, p. 149, Walter M. Buckley, Ed.

Chicago: Aldine, 1968.

[16] Nikos Kazantzakis, *The Last Temptation of Christ*. New York: Simon and Schuster, 1966.

[17] Norman Howard-Jones, "The Origins of Hypodermic Medication." *Scientific American*, (January, 1971).

[18] J. Woodland Hastings, "Light to Hide by: Ventral Luminescence to Camouflage the Silhouette." *Science*, **173**, 116(September 10, 1971).

[19] Carl F. Jordan, "A World Pattern in Plant Energetics." *American Scientist*, **59**, 425(July-August, 1971).

第 7 章

[1] R. W. Gerard, "Units and Concepts in Biology." *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Walter Buckley, Ed., pp. 51-58. Chicago: Aldine, 1968.

[2] Mikhael Bakunin, *God and the State*, p. 272. New York: Dover, 1970.

[3] R. F. Dabenmire, Plants and Environment, p. 272. New York: Wiley, 1959.

[4] Charles Gregg, Ed., *American Environmental Studies*. (42 Volumes) New York: Arno Press, 1970.

[5] L. A. Zadeh and C. A. Desoer, *Linear System Theory*. New York: McGraw Hill, 1963. 各类非线性系统的稳定性在数学上当然是更为困难的研究课题。有兴趣的读者可以参考以下文献(先修知识:矩阵、微分方程、线性系统):Jack M. Holtzman, *A Functinal Analysis Approach*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1970.

[6] W. J. Cunningham, "The Concept of Stability." *American Scientist*, **53**, 431 (December, 1963). Reprinted by permission of *American Scientist* Journal of Sigma Xi. The Scientific Research Society of North America.

[7] T. Parsons and E. A. Shils, *Toward a General Theory of Action*, p. 107. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1951.

[8] Michael A. Duguay, "Light Photographed in Flight." *American Scientist*, **59**, 550(September-October, 1971).

[9] Charles Darwin, *On the Origin of Species* (Facsimile edition). Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1964.

[10] Julian Steward, *Theory of Culture Change*, p. 184. Urbana: University of



Illinois Press, 1966.

[11] John Von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata*. Urbana: University of Illinois Press, 1964.

[12] W. Ross. Ashby. *Introduction to Cybernetics*, p. 9. New York: Wiley, 1961.

[13] 例如,可以参看:Harry C. Andres, *Introduction to Mathematical Techniques in Pattern Recognition*. New York: Wiley, 1972。

[14] 例如,可以参看:R. Duda and P. Hart, *Pattern Classification and Scene Analysis*. New York: Wiley, 1973。

[15] William Butter Yeats, "Among School Children." From *Selected Poems*. New York: Macmillan, 1956.

[16] D. O. Hebb, *The Organization of Behavior*. New York: Wiley, 1949.

[17] Herbert Spencer, *The Principles of Sociology*, pp. 447-448. New York: Appleton Century-Crofts, 1904.

[18] Nils J. Nilsson, *Learning Machines*. New York: McGraw-Hill, 1965.

[19] Hans Selye, *The Stress of Life*, p. 54. New York: McGraw-Hill, 1956. Used with permission of McGraw-Hill Book Company.

[20] Crane Brinton, *The Anatomy of Revolution*, pp. 15-16. New York: Vintage Books, 1965.

[21] P. W. Bridgman, *The Way Things Are*, p. 13. Cambridge: Harvard University Press, 1959.

[22] Robert S. Morison, "Death: Process or Event?" *Science*, **173**, 694(August 20,1971).